

*** NOTICES ***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

- [Claim 1] A power source is provided and (b) waveguide structure is provided. (a) Said waveguide structure In order to receive power from said power source, when it has the slot connects electrically and it runs along that front face and said power source supplies power to said waveguide structure, this power (1) In accordance with waveguide structure, it spreads by the progress electromagnetic wave toward a power outgoing end from the power-input edge of said waveguide structure. (2) Plasma generator which guides an electrical potential difference high enough to generating nonequilibrium plasma discharge within activity gas in the discharge field near said slot in said waveguide structure of making the width of face of said slot generating a rear-spring-supporter current.
- [Claim 2] Invention according to claim 1 whose configuration of said waveguide structure, configuration of said slot, and location supply the comparatively equal average electrical potential difference by which rear-spring-supporter impression is carried out to the width of face of said slot along with the overall length of said slot.
- [Claim 3] Invention according to claim 2 from which the configuration of said slot changes along with the die length of said slot.
- [Claim 4] Invention according to claim 2 from which the location of said slot over the longitudinal direction axis of said waveguide structure changes along with the die length of said slot.
- [Claim 5] Invention according to claim 4 it is made near [said slot / said slot / in / as compared with the power outgoing end of said waveguide structure / form an angle on the front face of said waveguide structure, thus / said power-input edge / invention] by the center line of said front face.
- [Claim 6] Invention according to claim 2 from which the electric effective cross section of said waveguide structure changes along with the die length of said waveguide structure.
- [Claim 7] Invention according to claim 6 which has the pivotable wing attached in the inner surface of said waveguide structure in order for said waveguide structure to make it possible to control change of said electric effective cross section along with the die length of said waveguide structure.
- [Claim 8] Invention according to claim 2 said whose waveguide structure has the rectangular cross section.
- [Claim 9] Invention according to claim 8 to which said waveguide structure is formed in tapering off, thus the height of said rectangular cross section decreases along with the die length of said waveguide structure.
- [Claim 10] Invention according to claim 2 said whose waveguide structure has the ellipse form cross section.
- [Claim 11] Invention according to claim 2 said whose waveguide structure is structure with a ridge.
- [Claim 12] Invention according to claim 11 said whose waveguide structure is equipped with the ridge which has the cross section which changes along with the die length of said waveguide structure.
- [Claim 13] Invention according to claim 2 which has the central conductor and the circular cross

section where said waveguide structure maintains the specific sense of the electric field of said progressive wave.

[Claim 14] Invention according to claim 1 said whose power source is a microwave generator and said whose power is microwave power.

[Claim 15] Invention according to claim 1 with the die length of said slot longer than one half of the wavelength of the power supplied by said power source.

[Claim 16] Invention according to claim 1 by which profile formation of the two fields in said waveguide structure which form said slot is carried out near said slot so that the controlled electric-field distribution may be offered.

[Claim 17] Invention according to claim 16 whose at least one of said two fields is dielectric coating.

[Claim 18] Furthermore, in order to make it possible to control the pressure of the (c) aforementioned activity gas, and a presentation Provide the envelopment object which holds said waveguide structure, and the connection waveguide structure connected between the (d) aforementioned power source and said waveguide structure is provided. However, invention according to claim 1 whose said power source and said waveguide structure the dielectric window is arranged in said connection waveguide structure, control the gas stream between said power sources and said envelopment objects, and make it possible to operate under different gas conditions.

[Claim 19] Furthermore, it is invention according to claim 18 formed so that said vacuum pump may remove gas from said envelopment object in order for said waveguide structure to make it possible to operate by said activity gas which has a presentation which the (e) vacuum pump is provided, and is a pressure lower than the gas conditions in said power source, and is different from the gas conditions in said power source.

[Claim 20] Invention according to claim 19 in which said vacuum pump is formed in said envelopment body so that a pressure may be maintained between about 10torr and about 1 atmospheric pressure.

[Claim 21] Invention according to claim 20 in which said vacuum pump is formed in said envelopment body so that a pressure may be maintained between about 50torr and about 200torr.

[Claim 22] The (e) circulator is provided. Furthermore, said circulator By having waveguide structural load equipment, being arranged between said power source and said connection waveguide structure, and making the reflective power in said waveguide structural load equipment dissipate From a superfluous echo of the power which may originate in an impedance mismatch and may be generated Said power source is protected and 3-fold [(f)] stub matching circuit network and an E-H tuner are provided. Said 3-fold stub matching circuit network and said E-H tuner In order to be arranged mutually [said connection waveguide structure] in an opposite hand and to optimize the shift of power to said plasma discharge It is invention according to claim 18 which said termination machine is arranged at said power outgoing end of said waveguide structure, and controls an echo of said power source by supplying the impedance matching of said dielectric window and said waveguide structure to said power source, and providing (g) waveguide structure termination machine to it.

[Claim 23] Invention according to claim 1 which said waveguide structure covers said slot, is arranged, and has the dielectric window selectively filled up with the interior of said waveguide structure, thus insulates said discharge field of said slot from other parts of said waveguide structure.

[Claim 24] Invention according to claim 23 which has one or more gas ways where said dielectric window supplies said activity gas directly in said discharge field.

[Claim 25] Invention according to claim 23 which forms protective coating on the front face where said dielectric window faces said discharge field.

[Claim 26] Invention according to claim 1 for which said waveguide structure has the dielectric window in which said slot is attached on the outside surface of a wrap and said waveguide structure, thus insulates said discharge field of said slot from said waveguide structure.

[Claim 27] (e) It is invention according to claim 1 to which a pivotable treater drum is provided,

and said drum is electrically insulated from said waveguide structure, and it is arranged near said slot within said waveguide structure, and a substrate advances side by side near said slot, and makes possible the thing of said substrate for which one side is exposed to said plasma discharge at least.

[Claim 28] Invention according to claim 27 by which an additional power source is arranged in order to impress an additional electrical potential difference between said drums and said waveguide structures and to contribute to generating of plasma discharge.

[Claim 29] Invention according to claim 28 by which said additional power source is arranged in order that at least one of said drum near the slot and said front faces of said waveguide structure may have dielectric coating, and it may supply a low frequency pulse voltage or a sine form radio frequency electrical potential difference between said drums and said waveguide structures and may reinforce said plasma discharge.

[Claim 30] Invention according to claim 27 by which profile formation is carried out so that the configuration of said drum may be suited in order that the outside surface of said waveguide structure facing said drum may offer an almost equal gap between said waveguide structures and said drums.

[Claim 31] a gas stream for said waveguide structure to supply said activity gas directly in said gap between said waveguide structures and said drums -- invention according to claim 30 which has a conduit.

[Claim 32] the extension into which the side face of said waveguide structure near said slot is mechanically separated from other parts of said waveguide structure -- having -- thus, said waveguide structure -- said -- others -- capacity coupling is carried out to a part -- having -- said extension and said waveguide structure -- said -- others -- invention according to claim 1 by which an additional power source is arranged in order to impress an additional electrical potential difference between parts and to contribute to generating of said plasma discharge.

[Claim 33] said extension and said waveguide structure -- said -- others -- said mechanical leaver section between parts is filled up with dielectric materials -- having -- and said extension and said waveguide structure -- said -- others -- invention according to claim 32 by which said additional power source is arranged in order to supply a low frequency pulse voltage or a sine form radio frequency electrical potential difference between parts and to reinforce said plasma discharge.

[Claim 34] Invention according to claim 1 to which said waveguide structure has two slots which counter mutually and are located, thus a substrate passes through said waveguide structure, enters in one slot, comes out of the slot of another side, and both sides of said substrate are made to be exposed to said plasma discharge.

[Claim 35] Invention according to claim 34 whose one of said slots said waveguide structure is structure with a ridge, and penetrates and runs one ridge of said waveguide structure with a ridge.

[Claim 36] It is invention according to claim 34 to which said waveguide structure has the rectangular cross section, and said rectangular cross section is formed in tapering off, thus the height of said rectangular cross section decreases along with the die length of said waveguide structure.

[Claim 37] Furthermore, it is invention according to claim 1 to which almost equal plasma discharge makes it possible to generate along with the overall length of said slot by providing one or more additional power sources since it is electrically combined with said waveguide structure in a different part in accordance with said waveguide structure and each power source can carry out coupling of the additional power into said waveguide structure by this.

[Claim 38] Said waveguide structure has the almost fixed cross section, and said slot is almost parallel invention according to claim 37 to the longitudinal direction axis of said waveguide structure.

[Claim 39] It is invention according to claim 1 which has two or more waveguide structures, and these are connected to one or more power sources, and is set that the relative position of said waveguide structure supplies two or more plasma discharge which has an effective overall length longer than the one longest slot length of the arbitration of said waveguide structures so that it

may make it possible to carry out plasma treatment of the substrate which has width of face longer than the longest slot length uniformly.

[Claim 40] (a) The step which supplies the activity gas for the waveguide structure of having the slot it runs along the front face of waveguide structure, (b) It is the step which supplies power from the power source electrically connected to said waveguide structure. Said power by (1) progressive wave From the power-input edge of said waveguide, it spreads along with said waveguide to a power outgoing end. In the discharge field near the (b) aforementioned slot The approach for generating plasma discharge of consisting of a step of guiding the current which supplies the electrical potential difference by which rear-spring-supporter impression is carried out to the width of face of said slot high enough in said waveguide structure to generating nonequilibrium plasma discharge in said activity gas.

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2002-526903

(P2002-526903A)

(43) 公表日 平成14年 8 月20日 (2002. 8. 20)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード^{*} (参考)

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

B 4 G 0 7 5

B 0 1 J 19/08

B 0 1 J 19/08

E

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 47 頁)

(21) 出願番号 特願2000-573139(P2000-573139)
(86) (22) 出願日 平成11年10月 1 日(1999. 10. 1)
(85) 翻訳文提出日 平成13年 4 月 2 日(2001. 4. 2)
(86) 国際出願番号 P C T / U S 9 9 / 2 2 9 6 5
(87) 国際公開番号 W O 0 0 / 1 9 7 8 4
(87) 国際公開日 平成12年 4 月 6 日(2000. 4. 6)
(31) 優先権主張番号 6 0 / 1 0 2 , 6 4 1
(32) 優先日 平成10年10月 1 日(1998. 10. 1)
(33) 優先権主張国 米国 (U S)
(31) 優先権主張番号 0 9 / 4 0 6 , 9 0 7
(32) 優先日 平成11年 9 月28日(1999. 9. 28)
(33) 優先権主張国 米国 (U S)

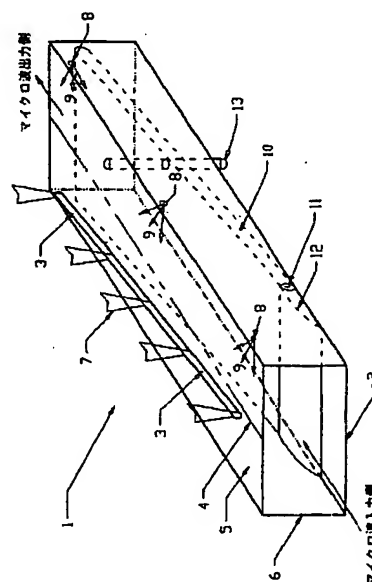
(71) 出願人 ザ・ユニバーシティ・オブ・テネシー・リサーチ・コーポレーション
THE UNIVERSITY OF TENNESSEE RESEARCH CORPORATION
アメリカ合衆国 37996-1527 テネシー州
ノックスビル、ホワイト・アベニュー
1534番、スウィート403
(72) 発明者 スペンス、ポール・ディー
アメリカ合衆国サウスカロライナ州29615、
グリーンヴィル、ロッキー・チェイス・ドライヴ 200
(74) 代理人 弁理士 奥山 尚一 (外 2 名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ放電を発生させるためのスロット付導波管構造

(57) 【要約】

導波管構造 (1) は、導波管 (2) の壁内に機械加工されている少なくとも1つの形状化スロット (3) を有する。導波管 (2) がハイパワーマイクロ波により励起されると、スロット (3) の幅にわたり、高電圧が発生するようにスロット (3) は形成される。スロットの領域内に発生する強い電界は、スロット (3) の近傍の作業ガス (9) 内に非平衡プラズマ放電 (7) を生成するのに使用されることが可能である。様々な基板が、スロット (3) を通過して並進されて、マイクロ波放電により発生するプラズマ種に曝露される。スロット付導波管構造 (1) は、マイクロ波エネルギーが、スロット (3) の長さに沿って均等に消散される状態で、進行波構造として動作するようにデザインされている。本構造は、様々なガスおよびガス混合物を使用して、約10トルから大気圧、即ち760トルまでの圧力領域にわたり動作するようにデザインすることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (a) 電源を具備し、

(b) 導波管構造を具備し、前記導波管構造は、前記電源から電力を受取るために電氣的に接続され、かつその表面に沿って走行するスロットを有し、前記電源が、前記導波管構造に電力を供給すると、この電力は、(1) 進行電磁波で、前記導波管構造の電力入力端から電力出力端へ向かって導波管構造に沿って伝搬し、(2) 前記スロットの近傍の放電領域内で作業ガス内での非平衡プラズマ放電を発生させるのに十分に高い電圧を、前記スロットの幅にわたり電流を発生させる前記導波管構造内に誘導する、プラズマ発生器。

【請求項 2】 前記導波管構造の形状と、前記スロットの形状及び位置が、前記スロットの全長に沿って前記スロットの幅にわたり印加される、比較的均等な平均電圧を供給する、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 3】 前記スロットの形状が、前記スロットの長さに沿って変化する、請求項 2 に記載の発明。

【請求項 4】 前記導波管構造の長手方向軸線に対する前記スロットの位置が、前記スロットの長さに沿って変化する、請求項 2 に記載の発明。

【請求項 5】 前記スロットが、前記導波管構造の表面上で角を形成し、このようにして、前記スロットが、前記導波管構造の電力出力端に比して、前記電力入力端において、前記表面の中心線により近いようにする、請求項 4 に記載の発明。

【請求項 6】 前記導波管構造の電氣的有効横断面が、前記導波管構造の長さに沿って変化する、請求項 2 に記載の発明。

【請求項 7】 前記導波管構造が、前記導波管構造の長さに沿って前記電氣的有効横断面の変化を制御することを可能にするために、前記導波管構造の内面に取付けられている枢転可能な羽根を有する、請求項 6 に記載の発明。

【請求項 8】 前記導波管構造が、方形横断面を有する、請求項 2 に記載の発明。

【請求項 9】 前記導波管構造が、先細りに形成され、このようにして、前記方形横断面の高さが、前記導波管構造の長さに沿って減少する、請求項 8 に記

載の発明。

【請求項10】 前記導波管構造が、楕円形横断面を有する、請求項2に記載の発明。

【請求項11】 前記導波管構造が、リッジ付構造である、請求項2に記載の発明。

【請求項12】 前記導波管構造が、前記導波管構造の長さに沿って変化する横断面を有するリッジを備える、請求項11に記載の発明。

【請求項13】 前記導波管構造が、前記進行波の電界の特定の向きを維持する、中心導体及び円形横断面を有する、請求項2に記載の発明。

【請求項14】 前記電源が、マイクロ波発生器であり、前記電力が、マイクロ波パワーである、請求項1に記載の発明。

【請求項15】 前記スロットの長さが、前記電源により供給される電力の波長の $1/2$ より長い、請求項1に記載の発明。

【請求項16】 前記スロットを形成する、前記導波管構造内の2つの面が、前記スロットの近傍で、制御された電界分布を提供するように輪郭形成されている、請求項1に記載の発明。

【請求項17】 前記2つの面のうちの少なくとも1つが、誘電体コーティングである、請求項16に記載の発明。

【請求項18】 さらに、

(c) 前記作業ガスの圧力及び組成を制御することを可能にするために、前記導波管構造を収容する包囲体を具備し、

(d) 前記電源と前記導波管構造との間に接続されている接続導波管構造を具備し、但し、誘電体ウィンドウが前記接続導波管構造内に配置されており、前記電源と前記包囲体との間のガス流を抑制して、前記電源及び前記導波管構造が、異なるガス条件下で動作することを可能にする、請求項1に記載の発明。

【請求項19】 さらに、

(e) 真空ポンプを具備し、前記電源におけるガス条件より低い圧力で、かつ前記電源におけるガス条件と異なる組成を有する前記作業ガスで、前記導波管構造が、動作することを可能にするために、前記真空ポンプは、前記包囲体からガス

を除去するように形成される、請求項 18 に記載の発明。

【請求項 20】 前記真空ポンプが、前記包囲体内で、約 10 トルと約 1 気圧との間に圧力を維持するように形成される、請求項 19 に記載の発明。

【請求項 21】 前記真空ポンプが、前記包囲体内で、約 50 トルと約 200 トルとの間に圧力を維持するように形成される、請求項 20 に記載の発明。

【請求項 22】 さらに、

(e) サーキュレータを具備し、前記サーキュレータは、導波管構造負荷装置を有し、前記電源と前記接続導波管構造との間に配置され、前記導波管構造負荷装置内の反射電力を消散させることにより、インピーダンス不整合に起因して発生することもある、電力の過剰反射から、前記電源を保護し、

(f) 3 重スタブ整合回路網及び E-H チューナーを具備し、前記 3 重スタブ整合回路網及び前記 E-H チューナーは、前記接続導波管構造の互いに反対側に配置され、前記プラズマ放電への電力の移行を最適化するために、前記電源へ、前記誘電体ウィンドウと前記導波管構造とのインピーダンス整合を供給し、

(g) 導波管構造終端器を具備し、前記終端器は、前記導波管構造の前記電力出力端に配置され、前記電源の反射を抑制する、請求項 18 に記載の発明。

【請求項 23】 前記導波管構造が、前記スロットを覆って配置され、前記導波管構造の内部を部分的に充填する誘電体ウィンドウを有し、このようにして、前記スロットの前記放電領域を、前記導波管構造の他の部分から絶縁する、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 24】 前記誘電体ウィンドウが、前記放電領域内に前記作業ガスを直接に供給する一つ以上のガス路を有する、請求項 23 に記載の発明。

【請求項 25】 前記誘電体ウィンドウが、前記放電領域に面する表面上に保護コーティングを形成する、請求項 23 に記載の発明。

【請求項 26】 前記導波管構造が、前記スロットを覆う、前記導波管構造の外面に取付けられている誘電体ウィンドウを有し、このようにして、前記スロットの前記放電領域を、前記導波管構造から絶縁する、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 27】 (e) 回転可能な処理器ドラムを具備し、前記ドラムは、前記導波管構造から電氣的に絶縁され、かつ前記導波管構造内の前記スロットの

近傍に配置され、基板が、前記スロットの近傍に並進されて、前記基板の少なくとも片側が、前記プラズマ放電に曝露されることを可能にする、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 28】 前記ドラムと前記導波管構造との間に付加的な電圧を印加して、プラズマ放電の発生に寄与するために、付加的な電源が配置される、請求項 27 に記載の発明。

【請求項 29】 スロット近傍の前記ドラム及び前記導波管構造の前記表面のうちの少なくとも 1 つが、誘電体コーティングを有し、かつ前記ドラムと前記導波管構造との間に、低周波パルス電圧または正弦形無線周波電圧を供給して、前記プラズマ放電を増強するために、前記付加的な電源が配置される、請求項 28 に記載の発明。

【請求項 30】 前記ドラムに面する、前記導波管構造の外面が、前記導波管構造と前記ドラムとの間にほぼ均等の間隙を提供するために、前記ドラムの形状に適合するように輪郭形成される、請求項 27 に記載の発明。

【請求項 31】 前記導波管構造が、前記導波管構造と前記ドラムとの間の前記間隙内に直接に前記作業ガスを供給するためのガス流導管を有する、請求項 30 に記載の発明。

【請求項 32】 前記スロットの近傍の前記導波管構造の側面が、前記導波管構造の他の部分から機械的に分離されている延長部を有し、このようにして、前記導波管構造の前記他の部分に容量結合され、前記延長部と、前記導波管構造の前記他の部分との間に付加的な電圧を印加して、前記プラズマ放電の発生に寄与するために、付加的電源が配置される、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 33】 前記延長部と、前記導波管構造の前記他の部分との間の前記機械的な分離部分が、誘電体材料により充填され、かつ前記延長部と、前記導波管構造の前記他の部分との間に、低周波パルス電圧または正弦形無線周波電圧を供給して、前記プラズマ放電を増強するために、前記付加的な電源が配置される、請求項 32 に記載の発明。

【請求項 34】 前記導波管構造が、2 つの互いに対向して位置するスロッ

トを有し、このようにして、基板が、前記導波管構造を通り抜けて、一方のスロット内に入り、他方のスロットから出て、前記基板の両面が前記プラズマ放電に露出されるようにする、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 35】 前記導波管構造が、リッジ付構造であり、前記スロットのうちの 1 つが、前記リッジ付導波管構造の 1 つのリッジを貫通して走行する、請求項 34 に記載の発明。

【請求項 36】 前記導波管構造が、方形横断面を有し、前記方形横断面は、先細りに形成され、このようにして、前記方形横断面の高さが、前記導波管構造の長さに沿って減少する、請求項 34 に記載の発明。

【請求項 37】 さらに、一つ以上の付加的な電源を具備し、各電源は、前記導波管構造に沿って異なる個所で前記導波管構造に電氣的に結合され、これにより、前記導波管構造内に付加的な電力を入力結合することができるので、ほぼ均等のプラズマ放電が、前記スロットの全長に沿って発生することを可能にする、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 38】 前記導波管構造が、ほぼ一定の横断面を有し、かつ前記スロットが、前記導波管構造の長手方向軸線に対してほぼ平行である、請求項 37 に記載の発明。

【請求項 39】 複数の導波管構造を有し、これらは、一つ以上の電源に接続され、かつ前記導波管構造の相対位置は、最長のスロット長より長い幅を有する基板を均等にプラズマ処理することを可能にするように、前記導波管構造のうちの任意の 1 つの最長のスロット長より長い有効全長を有する複数のプラズマ放電を供給するように定められる、請求項 1 に記載の発明。

【請求項 40】 (a) 導波管構造の表面に沿って走行するスロットを有する導波管構造のための作業ガスを供給するステップと、

(b) 前記導波管構造に電氣的に接続されている電源から電力を供給するステップであって、但し、前記電力が (1) 進行波で、前記導波管の電力入力端から、電力出力端へ、前記導波管に沿って伝搬し、(b) 前記スロットの近傍の放電領域内で、前記作業ガス内に非平衡プラズマ放電を発生させるのに十分に高い、前記スロットの幅にわたり印加される電圧を供給する電流を前記導波管構造内に誘

導する、ステップとから成る、プラズマ放電を発生させるための方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】****<発明の背景>****<発明の分野>**

本発明は、プラズマ放電に関し、詳細には、材料処理用途のための、中圧から高圧までのプラズマ放電に関する。

【0002】**<関連明細書へのクロス・リファレンス>**

この明細書は、弁理士事件整理番号 372, 6690 PROV として 10/01/98 に提出された、米国仮出願第 60/102, 641 号の出願日の利益を請求する。

【0003】**<関連技術の説明>**

低温非平衡プラズマを使用する、大きいウェブまたは薄膜基板のプラズマ表面改変は、従来、大気圧でのコロナ処理を使用して達成されるか、定圧プラズマリアクタ内でのバッチプロセスとして達成される。コロナ処理器は、コロナ処理器が、しばしば、印刷または積層のための重合体の表面を活性化するために、使用され、主に、作業ガスとして大気を使用する。コロナ処理器は、通常、誘電体バリヤ放電として形成され、60 Hz ~ 30 kHz の周波数領域内の低周波信号を使用して励起される。空気の使用と、発生プラズマの性質により制限される化学反応に起因して、コロナ処理は、低圧処理に比してかなり制限される。低圧処理は、広範囲の表面改変を得るために、ひいては、重合体基板の利用度を向上させるために、様々なガス化学反応及び放電技術を採用することが可能である。

【0004】

特に、低圧マイクロ波放電は、低周波放電に比して、イオン-電子対を生成させるのにより効率的であることが示された。所与の入力電力において、ギガヘルツの周波数領域内で動作するマイクロ波放電は、メガヘルツの領域内で動作する低周波無線周波放電あるいは、キロヘルツ周波数領域内で動作する誘電体バリヤ放電に比して、より高い密度のイオン-電子対及び励起状態種を発生させること

が可能である。窒素または酸素などの普通のガスを使用するマイクロ波放電は、重合体表面の大幅な表面機能化を惹起する。

【0005】

マイクロ波放電技術は、しかし、通常、低圧動作に制限される。様々な低圧マイクロ波放電技術が、多年にわたり、半導体基板の処理において、採用されてきた。これらの技術は、通常、1トル以下の圧力で動作し、中程度の広さのみの表面領域の基板を処理することが可能であるプラズマを発生させる。広い基板（ $1 \geq 0.2$ ）のインライン処理において、低圧（ $P \leq 1$ トル）放電との要求は、得るのが困難であり、真空ポンプのコストに起因して高価である。マイクロ波放電の高効率と、重合体表面を効率的に機能化するその能力とは、マイクロ波放電が、様々なウェブ及び薄膜のインライン処理のために望ましいものにする。

【0006】

高パワーマイクロ波は、高密度エネルギーの領域内にマイクロ波エネルギーを集束させることにより、高圧非平衡体積放電を生成させるのに使用される。このタイプの放電の臨界パワー束密度 S_{crit} は、非常に高い（例えば、約 $0.5 \sim 2 \text{ MW/cm}^2$ 、ただし MW は、メガワット）。マイクロ波は、 $4\lambda^2$ のオーダの最小領域のみにしか集束されることが可能でない（ただし λ は、放射線の波長）、マイクロ波は、マイクロ波 λ の自乗に比例するパワーレベル P_{crit} を供給しなければならない。このようにして、

$$P_{crit} = (2 \sim 8) \lambda^2 \text{ MW}$$

ただし λ は、センチメートルの単位であり、MW は、メガワットである。従って、 0.915 GHz （ $\lambda = 32.8 \text{ cm}$ ）及び 2.45 GHz （ $\lambda = 11.8 \text{ cm}$ ）の商工業マイクロ波周波数において、所要のパワー密度は、商用表面処理用途にとって魅力はなかった。

【0007】

自由空間内にマイクロ波エネルギーを集束させることに対する代替法として、ワイヤまたは誘電体構造が、高圧放電または中圧放電を発生させるのに適する方法で、マイクロ波エネルギーを結合するのに使用されることが可能である。ワイヤ「箒」が、 0.36 センチメートルマイクロ波エネルギーを集中させ、空気中に

非平衡放電を生成させるのに使用された。

【0008】

米国特許第3, 814, 983号明細書は、中圧から低圧までのマイクロ波放電の発生のための誘電体構造を使用する低速波構造を開示する。低速波構造は、かなり複雑であり、大きい体積にわたりマイクロ波エネルギーを分散させるのに、誘電体ロッドのアレイに依存する。誘電体ロッドの食い違い対が、マイクロ波を導波管から出力結合し、次いで、結合エネルギーを作業体積内に入射させるために、半波長間隔で配置されている。誘電体ロッドの半波長間隔は、単一周波数動作を必要とする。基板のより均等な処理を提供するために、誘電体アレイは、物理的に、基板から離されている。

【0009】

米国特許第4, 955, 035号明細書は、高圧ガス放電レーザーを発生させるために、可変寸法導波管を利用する。その構造は、レーザー体積内に非平衡均等性放電を発生させるために、進行形マイクロ波及び可変導波管寸法に依存する。プラズマ放電は、導波管内の進行波の電界を使用することにより、直接に発生される。

【0010】

米国特許第5, 517, 085号明細書は、環状導波管共鳴器を使用することにより、中圧から高圧までのマイクロ波放電を発生させるための方法を開示する。導波管は、閉鎖リングとして形成され、リングの内壁上に壁スロットがカット形成されている。マイクロ波エネルギーは、外部ソースから出力結合されて、フィードプローブにより、共鳴構造内に入力結合される。プラズマ放電は、壁スロットから漏洩するパワーを介して、リングの内部体積内で発生される。プラズマガス及び作業ガスは、通常、円筒形誘電体を使用して、共鳴器から分離される。この構造の円筒形形状は、しかし、この構造の円筒形形状は、例えば薄膜及びウェブなどの広い基板の処理に適しない。この構造は、進行波構造ではなく、共鳴構造である。

【0011】

スロット付導波管は、加熱用途に使用され、アンテナ構造のための放射器とし

て使用された。このようなスロット付導波管構造は、高パワーマイクロ波を使用して誘電体を加熱するのに使用された。この構造は、複数のスロットを採用し、スロットは、通常、 $0.4\lambda_0$ の長さを有し、ただし λ_0 は、自由空間波長である。米国特許第4,334,229号明細書は、遠視野アンテナとしての使用のためのスロット付導波管構造を提供する。この構造は、特定の放射パターンを提供するために、可変の導波管寸法及びスロット位置を利用する。誘電体が、導波管に内蔵され、これにより、高パワー動作が可能となり、構造の耐候性が得られる。この構造は、マイクロ波エネルギーが、遠距離にわたり伝達されなければならない用途のために設計されている。これらの構造は双方とも、プラズマ放電のために意図されても、設計されてもいない。このようなプラズマのいかなる発生も、マイクロ波エネルギーの放射器としてのこれらの構造の有用性を消滅させる。

【0012】

<発明の概要>

本発明は、長い長さ、狭い幅、及び中程度の体積を有する高パワー密度マイクロ波放電を発生させるための手段を提供する。およそその真空 (≥ 10 トル) から大気圧までの任意の圧力で動作するマイクロ波放電を使用しての、広く連続的な基板の処理が、本発明の装置及び方法を使用して実現可能となった。開示されている装置は、導波管の壁内に機械機械加工された形状化スロットを有する導波管構造を具備する。スロットは、高電圧が、導波管が、高パワーマイクロ波により適切に励起される場合、スロットの幅にわたり発生されるように形成されている。スロットの領域内で発生される強い電界は、スロットの近傍に導入された作業ガス内に非平衡プラズマ放電を生成させるのに使用されることが可能である。様々な基板が、スロットを通り抜けて並進され、マイクロ波放電により発生されるプラズマ種に露出されることが可能である。

【0013】

スロット付導波管構造は、スロットの長さに沿って均等に消散されるマイクロ波エネルギーを有する、進行波構造として動作するように設計されている。いくつかの方法が、均等なパワー消散を提供するために開示されている。これらの方法は、導波管の寸法を変更し、壁スロットの位置及び形状を変更し、補助ソース

を使用して導波管内にパワーを入力結合し、補助的アース平面を使用することを含む。補助的アース平面は、高圧動作を向上させるために低周波電圧を適用するための二次的電極として用いられることも可能である。バックグラウンドガス圧、ガス組成、ガス流速、および／またはガス流パターンを変更することは、プラズマ放電を制御するための付加的手段である。この構造は、様々なガス及びガス混合物を使用して、約10トル～約760トルの圧力領域にわたって動作するように設計されている。

【0014】

本発明の構造は、冒頭に記載の従来技術の低速波構造に比して、機械的に大幅により簡単であり、使用導波管の帯域幅にわたり動作することが可能である。プラズマ発生は、高い電界の領域内で直接に発生する。マイクロ波エネルギーのプラズマ放電への結合は、より局所化され、直接的であり、効率的である。プラズマを発生させるのに必要な強い電界は、誘電体構造内ではなく、スロット間隙の近傍に集中される。導波管及びスロットの寸法と、ガス流とが、プラズマ放電へのマイクロ波パワーの移行を制御するのに効率的に使用されることが可能である。

【0015】

本発明は、プラズマを発生させるために、導波管の壁内のスロットの幅にわたり発生される電界を利用する。これらの電界は、導波管内の進行波により誘導される、導波管の壁内のスロット遮断電流により発生される。

【0016】

本発明のスロット付導波管構造は、材料処理のための従来技術に比して、多数の特異的な利点を有する。スロット付構造は、沈殿の圧力から高圧までで、長く狭いプラズマを生成させるのに有用である。このタイプの放電は、薄膜及びウェブなどの広い基板の処理に適する。ギガヘルツ周波数領域内のマイクロ波エネルギーの使用は、非平衡プラズマ内に、イオン-電子対及びより高いオーダの電子状態を発生させるために、メガヘルツ及びキロヘルツの領域内の無線周波信号に比して、大幅により効率的である。これらの励起された種は、表面化学反応のために望ましく、表面化学反応が、例えば窒素及び酸素などの安価で非反応性のガ

スで行われることを可能にする。

【0017】

スロット付導波管構造の中圧から高圧まででの動作は、広い基板の大体積処理のために望ましい。50トル～200トルの領域内でのおよその真空での動作は、比較的簡単な振幅ポンプにより実現可能であり、包囲体内にウェブを入れたり、包囲体からウェブを出したりするために、ニップローラーシールを使用することを可能にする。

【0018】

本発明のスロット付導波管構造は、スロットの領域内に発生される強い電界に起因して、高圧放電を発生させるのに効率的である。発生放電は、スロットの長さに沿って均等的で良好に分布される傾向を有する。この構造は、進行波モードで動作するので、スロットの長さに沿っての電界分布は、キャビティモード及び定常波に通常見られる周期的振幅変動を有しない。スロット付導波管設計は、マイクロ波が、スロットを介してプラズマにエネルギーを依然として供給しながら、導波管に沿って伝搬し続けることを可能にすることにより、スロットの幅にわたり、「短絡」すなわち低インピーダンス放電を発生させる、プラズマの傾向に対処する。

【0019】

導波管は、高パワー低コストマイクロ波ソースを使用して励起されることが可能であり、工業的に承認されている2.45 GHz及び915 MHzの加熱周波数での動作に適する。マイクロ波炉の広範囲の使用により、中パワーマグネトロン（～1 kW）が、高信頼性で安価なソースとして使用可能となった。高温プラズマ物理実験及び高エネルギー加速器プロジェクトのためのマイクロ波加熱における最近の実験により、高パワークライストロンソースが発展した。

【0020】

機械的に、スロット付導波管構造は、製造及び組立が比較的容易である。適切な整合技術の使用により、スロット付構造は、依然として、周波数安定性が低い安価なマグネトロンを使用して、効率的に動作することが可能である。スロット付導波管構造のパワー入口区間におけるE-HチューニングスタブまたはE-E

チューニングスタブの使用により、マイクロ波ソースへのインピーダンスの効率的な整合が、得られる。

【0021】

1つの実施例では、本発明は、(a) 電源を具備し、
(b) 導波管構造を具備し、前記導波管構造は、前記電源から電力を受取るために電氣的に接続され、前記導波管構造の表面に沿って走行するスロットを有し、前記電源が、前記導波管構造に電力を供給すると、前記電力は、(1) 進行電磁波で、前記導管構造の電力入力端から電力出力端へ向かって前記導波管構造に沿って伝搬し、(2) 前記スロットの近傍の放電領域内で作業ガス内での非平衡プラズマ放電を発生させるのに十分に高い、前記スロットの幅にわたり印加される電圧を発生させる、前記導管構造内の電流を誘導させる、プラズマ発生器である。

【0022】

別の1つの実施例では、本発明は、(a) 導波管構造の表面に沿って走行するスロットを有する導波管構造のための作業ガスを供給するステップと、
(b) 前記導波管構造に電氣的に接続されている電源から電力を供給するステップであって、前記電力が(1) 進行波で、前記導波管の電力入力端から、電力出力端へ、前記導波管に沿って伝搬し、(b) 前記スロットの近傍の放電領域内で、前記作業ガス内に非平衡プラズマ放電を発生させるのに十分に高い、前記スロットの幅にわたり印加される電圧を供給する、前記導波管構造内の電流を誘導する、ステップとから成る、プラズマ放電を発生させるための方法である。

【0023】

好ましい実施例では、前記導波管構造の形状と、前記スロットの形状及び位置が、前記スロットの全長に沿って前記スロットの幅にわたり印加される、比較的均等な平均電圧を供給する。

【0024】

本発明の他の形態、特徴、及び利点は、次の詳細な説明、添付の請求の範囲、及び添付の図面から、より完全に明らかになる。

【0025】

<詳細な説明>

図1は、導波管の広幅面を貫通して機械機械加工されたスロット3を有する方形導波管2を有するスロット付導波管構造1を示す。この明細書において、「導波管」との用語は、光ファイバなどの誘電体導波管と異なり、導電性壁を有する、図1に示されている導波管1などの導管またはチャンネルを意味する。さらに、図1に示されているスロット3などのスロットは、壁内の単なる溝または凹部と異なり、導波管内の壁を貫通してカット形成されている。

【0026】

導波管2は、入力マイクロ波パワーは、通常は主TE (transverse electric : TE₁₀) モードである基本モードで伝搬するように形成される。スロット3は、導波管の広幅面5の胃中心線4から離れた位置で機械加工される。中心線4に対するスロットの幅も位置も、スロット3の長さに沿って一定である必要はない。

【0027】

一般に、スロット幅は、パワーレベル、動作圧、ガスタイプ、及びマイクロ波周波数の関数である。好ましい実施例では、スロットの幅は、導波管の面の幅の1/10より小さい。より狭幅のスロットは、より高い動作圧を可能にし、より広幅のスロットは、不活性ガスの放電特性に起因して、ヘリウムまたはアルゴンなどの不活性ガスで利用されることが可能である。

【0028】

基本TE₁₀モードで動作する方形導波管において、スロットは、好ましくは、スロット3の長さが、壁中心線4から、角を形成して遠ざかり (angle away)、導波管の狭幅面6へ向かうように機械加工される。アングル形状に形成される (angled) と、スロット3は、導波管2のパワー入力端で、中心線4に最も近く位置する。スロット3は、次いで、アングル形状を成して、側壁6へ向かい、一方、マイクロ波パワーの減少方向で導波管に沿って走行する。中心線4から進行的に遠ざかって走行することにより、スロット3は、入力マイクロ波パワーの進行波により誘導される壁電流の大部分を遮断することを継続する。これにより、一定のまたはほぼ一定の電圧が、スロット3の幅にわたり発生されることが可能と

なる。

【0029】

充分なマイクロ波パワーが入力されると、プラズマ放電は、スロット3の近傍で点火され、プラズマプルーム7として外方へ対流する。入力マイクロ波エネルギーは、次いで、プラズマ放電7に結合され、プラズマ放電7は、適切な動作条件下で、スロット3の長さに沿って分布される。適切な設計及び動作条件下で、本構造は、進行波モードで動作する。スロット3は、 $\lambda_g/2$ より長い長さを有し、ただし λ_g は、ソースマイクロ波エネルギーの導波管波長であり、放電7は、スロット3の長さに沿って、均等にまたはほぼ均等に分布される。

【0030】

ガス入口8は、作業ガスを連続的に供給するために、側壁の長さに沿って配置されることが可能である。側壁6に沿って分布されている、一連の小さい入口穴8は、供給ガス9の流れが、プラズマ放電7の挙動を制御することを可能にする。より高い流速は、壁スロット3を越えて、大量のプラズマ種を対流させるための手段を提供する。ポート8は、導波管2の側壁7内に誘導された壁電流と干渉する程に十分に大きくあってはならない。ガス流ポート8は、側壁5内に機械加工されることも可能であり、このようにして、作業ガスが、スロット3内に直接に導入されることが可能であるようにする。供給ポートを貫流するガス流の流速は、好ましくは、スロットから流出する正味流量が、 $1 \sim 2 \text{ L/cm}$ 分の領域内にあるように調整される。均等に間隔を置いて配置される供給ポートにおいて、流量は、均等に分割されなければならない、このようにして、可及的均等な流れが、スロットに沿って存在するようにする。使用ガスのタイプに依存して、流速の領域は、 $0.2 \sim 10 \text{ L/cm}$ 分に増大する。後述の誘電体構造も、スロット3の近傍に供給ガス9の流れを向けるのに効率的に使用されることが可能である。

【0031】

スロット3に沿ってのパワー分布の均等性を改善する1つの付加的な手段は、導波管2に可動羽根10を配置することである。羽根10は、羽根2の側壁にびたりと当接して適合し、スロット3に対向して位置する内側導電壁を形成するよ

うに機械加工される。重要な点は、良好な電氣的コンタクトが、良好な導電体から成るか、または、例えば銅または金などの良好な導電体によりめっきされている羽根10と、導波管2の壁との間に維持され、このようにして、導波管20及び羽根10の壁内に誘導された電流が、遮断されないようにすることである。羽根及び導波管は、好ましくは、羽根のエッジと、導波管の側壁との間にスライディングコンタクトを有するように機械加工されるか、または、羽根は、羽根と壁との間に良好な電氣的コンタクトを提供するために、金属ワイパを備える。羽根エッジと導波管壁との間のいかなる間隙も、羽根と壁とを容量結合し、これにより、高パワーおよび／または低圧動作の間にアーキング及び放電が、発生する。

【0032】

羽根10は、点11を中心として枢転され、このようにして、導波管2の横断面は、その長さに沿って変化されることが可能である。導波管2の横断面が、マイクロ波パワーが減少する方向で減少するように、羽根2を配置することにより、導波管2の狭い領域内の電界は、より一定に維持されることが可能である。広幅面5内に誘導された電流は、従って、導波管2に沿ってパワー束が減少するにもかかわらず、より一定に維持され、より一定の電圧勾配が、スロット3の幅にわたり存在する。

【0033】

羽根10の枢転端11は、羽根あるいは導波管の壁に類似の導電材料から成ることが必要である可撓性ストリップ12により、包囲する導波管2の隣接壁に慎重に接続されている。ストリップ12は、入力マイクロ波のための境界条件の滑らかな勾配と、羽根10から導波管2への良好な電氣的連続性とを提供する。ストリップ12は、導波管壁から羽根10の枢転点への滑らかな移行を提供する形状適合ウェッジ及びプラグとして形成されることが可能である。羽根10の運動は、アクチュエータースクリュー13により容易にされることが可能であり、アクチュエータースクリュー13は、導波管2の壁を貫通し、適切な外部回転手段（図示せず）に接続する。

【0034】

羽根10は、スロット3と同様に真直ぐである必要はなく、湾曲されることが

可能であり、このようにして、導波管2の横断面は、その長さに沿って非線形に変化するようにする。いったん、特定の動作領域のために設計されると、構造1は、羽根10が、固定され、導波管10の外壁となるように、形成されることが可能である。

【0035】

図2は、導波管の入力端へ向かって見て、図1のスロット付導波管構造の特定の横断面を示す。この個所で、羽根10は、導波管10のほぼ中間に配置され、このようにして、マイクロ波エネルギーにより付勢される、導波管2の横断面領域14は、導波管2の横断面領域全体の1/2より僅かに大きいようにする。スロット3は、肉厚の側壁5内で機械加工され、このようにして、スロット3の両面15が、輪郭形成されて機械加工されることが可能である。この輪郭は、ほぼ楕円形であることが可能であり、これにより、間隙3内の電界分布をより制御して生成させることが可能となる。スロット3のエッジ面15は、例えば酸化アルミニウムまたは酸化ジルコニウムなどの誘電体コーティングにより被覆されることも可能である。このタイプのコーティングは、フィラメント放電またはアークを発生させることもある過剰の電界または熱イオン放射を低減することにより、高圧動作を改善することが可能である。

【0036】

スロット付導波管構造が、プラズマ放電アプリケーションとして使用されるために、本構造は、付加的な支持ハードウェアを備える。図3は、プロセス包囲体16内のアプリケーションとして形成され、外部マイクロ波ソースすなわちマグネトロン17に結合されているスロット付導波管1を有する典型的構造形態を示す。サーキュレータ18は、導波管インピーダンス不整合に起因して発生することもある過剰反射から、マグネトロン17を保護する。反射されてソース17に戻るいかなるパワーも、導波管負荷装置19に導かれて、消散される。

【0037】

ウィンドウ20は、接続導波管21内に配置されている誘電体構造であり、ガスおよび／または圧力の差が、接続導波管21の幅にわたり維持されることを可能にするバリヤとして動作する。接続導波管21は、冷却剤ジャケット22を備

えることが可能であり、これにより、導波管21の内壁を冷却し、ひいては、導波管ウィンドウ20を冷却することが可能となる。3重スタブ整合回路網23及びE-Hチューナー24は、プラズマ放電7の最大のパワー移行のために、マイクロ波ソース17に、ウィンドウ20及びスロット付導波管1を整合するための手段を提供する。

【0038】

アプリケーション1の出力端は、多数の方法により終端されることが可能である。スロット付導波管アプリケーション1は、スライディングショート25により、または負荷装置19に類似の導波管負荷装置（図示せず）の使用により、終端されることが可能である。スライドと25は、基本的に、導波管内でスライドする金属プラグまたはブロックを備える、導波管の1区間である。プラグは、形状適合でありおよび／または金属ワイパを備え、このようにして、良好な電氣的コンタクトが、プラグが、導波管内で動かされる際に維持される。

【0039】

E-Hチューナー24の適切なチューニングにより、アプリケーション1内のスロット3の端部から2、3センチメートルしか離れていない固定ショートも、適切に作業することが分かった。適切な設計及びチューニングにより、アプリケーション1は、主に、進行波モードで、非常に僅かなパワーしかソース17に反射されずに、動作する。いったんプラズマ7が、開始される t 、スロット付導波管は、非常に「損失的」構造であり、ショート25からのいかなる反射パワーも、アプリケーション1の長さに沿って、点火されたプラズマ7内で迅速に消散される。

【0040】

スロット付導波管1は、ウェブまたは薄膜基板26が、アプリケーション1のスロット付面を通過して並進され、プラズマ放電7により発生されたプラズマ種に露出される。ガイドローラー27は、アプリケーション1を超えての基板26の運動を容易にするのに使用される。ニップローラー28の組は、包囲体16に入るまたは包囲体16から出るために、基板26のための境界面を提供するのに使用されることが可能である。ポンプ29は、包囲体16を換気するかまたは包囲体16を排気しておおよそその真空にし、約10トルから大気圧より僅かに低い圧力（～

760トル)の圧力に包囲体16を維持するのに使用される。

【0041】

前述のように、図3の誘電体ウィンドウ20は、スロット付導波管1の作業ガス及びプラズマ放電7から、マイクロ波ソース17を絶縁する重要な機能に用いられる。マイクロ波により発生されたプラズマが、大気圧より低い圧力で使用される場合、大部分のマイクロ波ソースは、構造1のプラズマ放電領域から絶縁されなければならない。大部分の高パワーマイクロ波管の出力側は、一般に、大気圧以上で作業するように設計され、このようにして、放電は、マイクロ波のフィード個所で発生しない。ガス状放電の所望の領域からマイクロ波ソースを絶縁するために、誘電体ウィンドウ20は、接続導波管21内に配置される。このウィンドウは、プラズマ放電7とマイクロ波ソース17との間の圧力および／またはガスバリヤとして用いられる。

【0042】

ウィンドウ構造のための優れた2つの誘電材料は、石英ガラス及びテフロン（登録商標）重合体である、その理由は、マイクロ波に対する透過性、軽度の誘電率、及び低い消散性にある。他の潜在的に適切な材料は、ポリスチレン、ルビーマイカ、及びある低損失級のポリエチレンを含む。図4及び5は、導波管21内に挿入されることが可能である誘電体ウィンドウの2つの特定の設計を示す。図4は、単一ブロックとしてまたは3つの別個のブロックとして製造されることが可能であるウィンドウ設計20aを示す。このタイプの誘電体ウィンドウの寸法は、 $L_1 = 0.25 \lambda_{ga}$ 及び $L_2 = 0.25 (\lambda_{ga} \lambda_{gd})^{1/2}$ であり、ただし、 λ_{ga} は、空気中の導波管波長であり、 λ_{gd} は、誘電体中の導波管波長である。一般に、寸法 (dimensions) (a, b) の方形導波管内の主 TE_{10} モードのための導波管波長は、次式により与えられる。

$$\lambda_g = \lambda (\epsilon - (\lambda / \lambda_c)^2)^{-1/2}$$

ただし、 λ は、自由空間波長であり、 $\lambda_c = (2a)$ は、導波管の遮断波長であり、 ϵ は、空気または誘電体の比誘電率である。

【0043】

ハイパワーにおいて、ブロックの面により導入されるた不連続性は、強い局所

化電界を惹起する。これらの電界により、誘電体ブロック及びセメント、またはさらにはプラズマ放電の過剰の加熱が発生することがある。ウィンドウ面上または近傍のいかなるプラズマ放電も、ウィンドウの下流側へのマイクロ波パワーの移行を抑制し、潜在的に、誘電体ウィンドウを損傷する。Ikeda et al., "Discharge at the pillbox window for an LHRF launcher," IEEE Trans. Plas. Sci. 17, 534 (1989)は、プラズマ放電の可能性を最小化するために、誘電体ウィンドウ及び周囲の導波管の面をコンディショニングまたは処理するための方法を説明する。これらの方法は、誘電体または金属表面から放射されることもある二次的電子の低減に重点を置く。表面コンディショニングに加えて、ガス流が、ウィンドウの面を横断して導入されることが可能であり、これにより、ウィンドウ面上でのプラズマ放電の形成を停止または遅延させることが可能である。任意の誘電体ウィンドウのかなりの加熱が、高パワーレベルで発生することが可能であるので、ガス流と、ウィンドウの近傍の導波管壁の冷却とが、誘電体ウィンドウを冷却するのに使用されることが可能である。

【0044】

図5は、例えばテフロンなどの固体機械加工可能誘電体を使用する、図4の設計に対する1つの代替の設計20bを示す。この構造は、マイクロ波電界のより緩慢な移行を可能にする形状に機械加工されることが可能である。2つの傾斜状移行区間の使用は、誘電体ウィンドウから、包囲する導波管の冷却された側壁への熱伝達も改善する。

【0045】

図4及び図5に示されている誘電体ウィンドウ設計に対する1つの代替は、スロット付導波管1内に、そして、導波管スロット3の直接上に誘電体を配置することにある。図6は、導波管2を部分的に充填し、壁スロット3の直接上に配置されている誘電体ウィンドウ30を有するスロット付導波管1の横断面を示す。この構造形態は、スロット3の放電領域が、導波管2の他の部分から絶縁されることを可能にし、ガス差および／または圧力差が、導波管2の内部と外部との間に存在することを可能にする。誘電体30は、半径31で機械加工されることが可能であり、このようにして、誘電体30が、放電と接触しないようにする。加

えて、誘電体は、ガス路8を形成するように、機械加工されることが可能であり、このようにして、供給ガスが、スロット3の放電領域内に直接に導入されるようにする。この構造形態は、導波管2の包囲された体積と、支持ハードウェアとが、六フッ化イオウなどの放電抑圧ガスにより僅かに圧縮される。導波管2は、次いで、望ましくないプラズマ放電が、導波管2の領域14内に発生することなしに、より高いマイクロ波パワー密度により付勢されることが可能である。誘電体カバリング30の完全性が、プラズマ種または放電7からの紫外線により損傷されると、セラミックコーティングが、内径31に適用されることが可能であり、これにより、プラズマ種に対する耐性が改善された複合構造を形成することが可能である。

【0046】

図6aは、図6に対する1つの代替を示し、この場合、誘電体ウィンドウ30は、導波管2のスロット付面の外面上に取付けられている。この構造形態において、マニホールド50及び51が、作業ガスを放電領域7内に導入するのに使用され、これは、ウィンドウ30の外面上で行われる。ウィンドウ30は、高級エポキシなどの適切な接着剤を使用して、導波管7に密着されることが可能である。

【0047】

本発明のスロット付導波管技術は、異なる実施例を使用して実施されることが可能であり、以下に、それらのうちの一部の実施例を説明する。

【0048】

基板の処理が、導波管に対して外部である場合、二次的なサポートが、しばしば、プラズマ放電の近傍に基板を配置するのに使用される。図7は、処理器ドラム32に対して平行にかつこれに隣接して配置されている導波管アプリケータ1の横断面図を示す。処理器ドラム32は、処理器ドラム32が、支持シャフト33を中心として回転することが可能であり、基板26が、導波管アプリケータ1の放電を通過して並進されることを可能にするように形成される。スロット付壁5の外表面は、輪郭形成され、このようにして、均等な間隙35が、ドラム32の外径と、側壁5の外表面との間に形成されるようにする。2、3センチメートル（a few centimeters）の長さまでのプラズマプルームを生成させることが可能で

ある、導波管構造の能力に起因して、導波管2と処理器ドラム32との間の間隙は、2、3ミリメートルから数センチメートル (several centimeters) まで変動されることが可能であり、この場合、特定の間隔は、ガス圧及び動作圧と全体的ジオメトリとの関数である。

【0049】

導波管2から、処理器ドラム32を電氣的に絶縁することにより、ドラム32は、基板26のサポートとして用いられることに加えて、二次的電極として用いられることが可能である。二次的電極（すなわちドラム32）またはスロット3と、導波管2のスロット付壁5とを、適切な誘電体によりコーティングすることにより、低周波パルス電圧または正弦形無線周波電圧が、処理器ドラム32または導波管2に適用されることが可能となり、これにより、間隙35内に誘電体バリヤ放電を形成することが可能となる。この放電は、マイクロ波放電を増強して、高圧動作を改善する。大気圧で、(1) 数キロボルトの振幅を有する1kHz～100kHzの領域内の低周波無線周波電圧か、または、(2) 通常1マイクロ秒以下の立上り時間、3キロボルト以上の振幅、及び1kHz～100kHzの繰返し率を有するパルス電圧が、使用されることが可能であり、この場合、実質的に任意のガスが、低周波放電のために使用されることが可能である。導波管アプリータ1が、約200トル以下の低減された圧力で動作する場合、0.5MHz～30MHzの領域内のより高い周波数の無線周波信号が、マイクロ波により励起される放電7と組合せて使用されることが可能である。

【0050】

スロット間隙3を通過して流出することに加えて、作業ガスは、流れ導管37及び通路38を経て、環状間隙35内に導入されることが可能である。誘電体コーティング34は、局所的熱イオン放射または過剰電界放射に起因するアーキングの潜在的 가능성을低減する。特に困難なガスのイオン化のために、マイクロ波は、低周波信号と組合せて、パルス化されることが可能である。放電が、低周波信号により、最初に点火されると、パルス化マイクロ波信号が、印加され、最初のプラズマにより強く吸収される。

【0051】

処理器ドラム32は、低周波信号により励起されたかどうかと無関係に、高周波マイクロ波信号のためのアース平面として用いられる。処理器ドラム32、導波管壁5、及び導波管スロット3は、それぞれ、マイクロ波信号及び低周波信号双方において存在する強い電界のために、適切に輪郭形成されなければならない。導波管2のエッジは、略楕円形に輪郭形成され36、これにより、ドラム32と導波管2との間により滑らかな電界勾配を提供することが可能である。

【0052】

無線周波信号またはパルス化信号と、マイクロ波信号とを組合せることに対する1つの代替の方法は、図8に示されているように、スロット付導波管の側壁を改変することにある。側壁6は、延長部40を有するように改変され、延長部40は、広幅面壁5が、2つの部分5a及び5b内に形成されることを可能にする。区間5bと壁延長部40との間に機械的間隙41を導入することにより、区間5bは側壁6に容量結合される。間隙41は、薄肉高電圧誘電体により充填され、区間5bは、誘電体コーティング42によりコーティングされることが可能であり、このようにして、放電は、間隙41内で発生しないようにする。金属基板上にプラズマ溶射またはフレイム溶射される誘電体コーティング42は、例えば酸化アルミニウムまたは酸化ジルコニウムベースから成ることが可能である。厚さは、通常、このタイプのコーティングでは、0.5mm～1.0mmである。間隙41は、好ましくは、間隙41内に配置されている誘電材料の絶縁耐力の限界内で可及的最小に維持される。この誘電材料は、印加される高電圧無線周波信号または高電圧パルス化信号に耐えることが可能である必要がある。セラミックコーティング42及び高絶縁耐力の材料例えばMylarの使用は、間隙41が、1mm以下であることを可能にする。

【0053】

壁延長部40及び壁区間5の寸法を変化させることにより、延長部41と区間5bとの間の容量結合の程度が、変化されることが可能である。この間隙容量は、導波管2内の高周波マイクロ波において、低インピーダンスが、壁延長部40と区間5bと間に存在し、一方、無線周波信号またはパルス化信号において、高インピーダンスが、間隙41の幅にわたり存在するようにするものであることが

可能である。延長部40及び区間5bが、この方法で絶縁されると、図7の構造形態で適用されたものに類似の特性の無線周波電圧またはパルス化電圧が、マイクロ波放電7を増強するのに使用されることが可能である。低インピーダンスが、高周波マイクロ波において、延長部40と区間5bと間に存在するので、壁スロット3は、導波管2の壁内で誘導されるマイクロ波電流において実質的に同一に振舞う。この構造形態で、スロット付導波管構造の高圧動作は、例えば図7の処理器ドラム32などの外部電極の必要性なしに、低周波放電により増強される。

【0054】

図9は、薄肉基板の両面の同時処理のための、図1に示されているスロット付導波管構造の1つの改変された変形を示す。導波管2は、所定の先細りで、壁スロット壁スロット3a及び3bを有して、作製され、スロット3a及び3bは、導波管の上部広幅側壁及び下部広幅側壁内で機械加工される。これらのスロットは、薄肉基板が、導波管2を通過して連続的に搬送されることを可能にするように位置合せされる。壁スロット3a及び3bは、各広幅面の中心からずれており、アングル形状に形成されて、外方へ向かって、狭幅側壁へ向かうことが可能である。これらのスロットは、しかし、真直ぐでなければならない、何故ならばこれにより、基板26が、スロット3a及び3bのエッジ面上への接触が最小で、導波管2を通り抜けて搬送されることが可能となるからである。ガスポート8も、作業を導波管2内に導入するのに利用されることが可能であり、作業ガスは、次いで、外方へ向かって、壁スロット3a及び3bを貫流して流出する。先細り導波管は、図3のアプリケーション1において示されたものに類似の方法で、支持ハードウェアを備える。

【0055】

前述の実施例は、方形横断面を有するスロット付導波管構造に関する。しかし、方形以外の横断面を有する導波管も、使用されることが可能である。これらは、電界の特定の向きを維持する中心導体(center conductor)を有する円形導波管、または、このような中心導体を有するまたは有しない楕円形導波管、および、リッジ付導波管を含む。リッジ付導波管は、TEMモードで動作することも可

能であり、TEモードで動作することも可能である。これにより、リッジ付導波管が、広い帯域幅にわたり動作することが可能となり、そして、導波管内のプラズマを点火する手段が、得られる。

【0056】

図10は、リッジ構造43を内部に装填されている導波管2を有する1つの代替の実施例を示す。リッジ43の高さH1および幅W1は、本構造の帯域幅を変化させるためだけでなく、壁スロット3の幅にわたり発生される電界の強度も変化させるためにも、変化されることが可能である。スロット3のエッジ面15と、リッジ43のエッジ44とは、前述の方法に類似の方法で輪郭形成されなければならない。作業ガスが、導波管内に導入されることが可能であり、このようにして、作業ガスが、スロット3を貫流して流出し、これにより、スロット3で、プラズマ放電7が、導波管2がマイクロ波エネルギーにより適切に付勢されると、生成されるようにする。リッジ装填導波管内でマイクロ波信号を発射するための様々な方法が、存在する。プラズマ処理する基板は、プラズマ放電7を通過して並進される。

【0057】

図11は、薄肉基板26の両面の同時処理を可能にするために改変されたものとしての、図10のリッジ付導波管の1つの変形を示す。リッジ43は、スロット5を有するように変化され、スロット45は、壁スロット3と位置合せされ、これにより、基板26が、導波管構造を通り抜けて連続的に移動することが可能となる。モードと導波管寸法とに依存して、プラズマ放電は、スロット3の間隙内と、リッジ付構造の面と、導波管の広幅面の内面との間の領域内とで発生されることが可能である。

【0058】

図12A～Bは、（例えば、マイクロ波発生器および導波管の所与の組合せで容易に使用可能な長さより広い基板などの）非常に広い基板の処理のための1つの実施例を示す。主導波管2の区間は、好ましくは、一定の横断面を有し、壁スロット3は、導波管の中心線から一定のずれを有する。最初のマイクロ波発生器（図示せず）に加えて、側壁方向性結合器により、主導波管2内にマイクロ波エ

エネルギーを入力結合するのに使用される付加的なマイクロ波発生器が設けられる。これらの側壁結合器47a、47bおよび47cは、壁開口49a、49bおよび49cの組を介して、主導波管2内にマイクロ波エネルギーを入力結合する。これらの壁開口は、結合を制御するように選択された、各開口の位置、サイズ、および向きを有する、スロット、円形、または楕円形の形状を有することが可能である。図12A～Bは、壁結合が、スロット付導波管2の両側で交互に行われることに起因する、2つのタイプの開口を示す。スロット3の存在に起因して、壁結合は、壁スロット3に対する開口の接近性に依存して、変化される。壁開口は、圧力差またはガス差が、主導波管の側壁の幅にわたり維持されることが必要である場合、誘電体によりカバーされることも可能である。

【0059】

側壁結合の使用は、可動の上壁の使用を制限するにもかかわらず、壁開口のサイズ、間隔、および向きと、誘電体の使用とが、結合度が、主導波管2内の進行形マイクロ波内のパワーを、比較的一定に維持されるように調整されることを可能にする。図12A～Bに、狭幅壁結合器として示されているにもかかわらず、「側壁」結合器は、主導波管2の広幅面または狭幅面内にあることが可能である。

【0060】

図13は、非常に広い基板のための第2の代替実施例を示す。多数のスロット付導波管アプリケータ1a、1bおよび1cが、図示のように、重畳され、このようにして、これらのアプリケータの処理領域が、互いに重畳して、基板26の全幅をカバーするようにする。各アプリケータ区間は、それ自身のマイクロ波発生器、導波管、および終端器を有する。この単純な方法は、故障モジュールを容易に置換することが可能であり、任意の幅の基板の処理に容易に拡張することが可能である利点を有する。

【0061】

<実験結果>

図3に示されているシステムに類似の処理システムが、WR284導波管を使用して形成され、様々な動作条件下で試験された。WR284導波管は、2、4

5GHzマイクロ波パワーに使用される通常の導波管サイズである。標準導波管の使用は、既存のハードウェアの Availability および互換性が得られる利点を有する。主モードのための導波管カットオフは、 $\lambda_c = 2a$ により与えられ、ただし、 a は、導波管の広幅面寸法である。WR284 のカットオフ周波数は、2.08GHz であり、すなわち、より高い周波数は、伝搬し、より低い周波数は、指数関数的に減衰する。

【0062】

WR430 および WR340 導波管も、2.45GHz マイクロ波信号において使用されることが可能であることに注意されたい。それらのより大きい寸法に起因して、これらの導波管は、導波管内でアーキングを発生することなしに、より高いパワーレベルで動作することが可能である。方形導波管にとっての重要な基準は、主モードのみが、伝搬し、エネルギーを搬送することを可能にするために、導波管の1つの寸法が、 λ を超えてはならず、他方の寸法は、 $\lambda/2$ を超えてはならないことにあり、ただし、 λ は、自由空間波長である。本発明において、これらの基準と、カットオフ周波数基準とは、入力端において、例えば WR430 導波管の寸法を有し、適切な長さにわたり先細りして、例えば WR284 導波管の寸法に到達する導波管の使用を可能にする。2.45GHz における主 TE_{10} モードは、先細り区間に沿って維持される。壁寸法の減少は、導波管内の電界振幅の増加を惹起し、ひいては、壁電流の増加を惹起する。それ自体として、導波管幅（寸法 a ）の変化と、導波管高さ（寸法 b ）の変化との同時発生は、寸法 a がカットオフ周波数限界値より低く減少されないかぎり、スロットによるパワー損失を補償するのに使用されることが可能であり、これにより、スロットの幅にわたる電圧を一定にまたはほぼ一定に維持することが可能である。

【0063】

WR284 導波管システムは、750ワット、2.54GHz マグネトロンソースを使用して、付勢された。いくつかのスロット付導波管区間が、スロット長さが、28センチメートル～38センチメートルにわたり変化され、スロット幅が、0.5ミリメートル～5ミリメートルにわたり試験されて、形成された。ガス流速は、通常、スロット長さのセンチメートル当り 1～2 L/分のオーダーであ

った。窒素、二酸化炭素、およびアルゴンであるプロセスガスが、単独でおよび酸素を添加して、試験された。

【0064】

安定し均等の放電が、放電ガスとして窒素を使用して得られ、50トル～250トルの圧力で動作し、この場合、スロットの長さは、38センチメートルであり、幅は0.5ミリメートルであり、パワー密度は、スロット長さのセンチメートル当たり約13ワットであった。スロットの入力端は、導波管の中心線から約1センチメートルだけずれ、38センチメートルの長さにわたり、均等に傾斜して、側壁の内側エッジに到達した。この放電により発生されたプラズマブームは、通常、2～3センチメートルの長さであった。3%まで酸素が添加されたアルゴンを使用して、安定した放電が、補助的な低周波励起の必要性なしに、大気圧で得られた。

【0065】

スロット付WR284導波管も、スロット付導波管面から、2.5ミリメートルに配置されているアルミニウム平面電極も備える。10kHzの繰返し率と、約1マイクロ秒時間の立上り時間を有する、10kHzであり5キロボルトのピークを有するパルス電圧により平面電極を励起することにより、窒素放電は、2.45GHzマイクロ波パワーの400ワットを使用して、300トルに維持された。

【0066】

ポリプロピレン薄膜が、150トルで動作する窒素放電を使用して、処理された。約500ワットの入力パワーが、38センチメートルのスロットの長さに沿って放電を生成した。ポリプロピレン薄膜は、スロット付導波管面から2.5センチメートルに配置され、38cm/分の速度で並進された。この処理は、約 $50 \pm 5^\circ$ の水接触角を有するぬれ可能な表面を生成した。標本をすすぎ、乾燥した後、約 $60 \pm 5^\circ$ の水接触角が、得られた。

【0067】

一般に、容認可能な作業ガスまたはガス混合物は、動作圧、放電パワー、および導波管構造ジオメトリの関数である。高圧（例えば $P \geq 150$ トル）は、通

常、アルゴンあるいはヘリウムなどの不活性ガス、より狭幅なスリット、および／またはより高いパワーの使用を必要とする。圧力が、過度に低いと（例えば $P \leq 50$ トル）、放電が、導波管内に形成されることもある。しかし、本発明のある特定の導波管構造（例えば図6a）は、50トルより低い圧力での動作をサポートすることが可能である。

【0068】

本発明は、マイクロ波パワーを伝搬する導波管と関連して説明されたが、本発明は、他の周波数領域内の電力を使用して、実施されることも可能である。パワー一周波数を変化させることにより、導波管の寸法を調整することが可能であり、プラズマ放電の特性を制御することも可能である。

【0069】

明示的に他のように記述されていなかぎり、各数値および領域は、あたかも「約」との単語が値または領域の単語に先行するかのようにより、近似値であると解釈されなければならない。

【0070】

さらに、前述の部品の詳細、材料、および配置における様々な変化が、請求の範囲に表現される本発明の原理および範囲から逸脱することなしに、当業者により行われることが可能であることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【図1】

側壁内の放電スロット、可動羽根、及びガス入口を示す、スロット付導波管構造の等角図を示す。

【図2】

輪郭形成されたスロットエッジ、羽根、及びガス入口を有するスロット付導波管の横断面図を示す。

【図3】

包囲体内に配置され、支持構成要素に接続されているスロット付導波管構造を示す。

【図4】

簡単なブロック形状を有する誘電体ウィンドウ構造の等角図である。

【図 5】

漸次の移行を有する機械機械加工されたジオメトリを有する誘電体ウィンドウ構造の等角図を示す。

【図 6】

ガス流路を有する内側誘電体カバリングを有するスロット付導波管の横断面図を示す。

【図 6 a】

導波管のスロット付面の外面に取付けられている外側誘電体ウィンドウを有するスロット付導波管の横断面図である。

【図 7】

円筒形に形成された基板サポートまたは二次的電極で使用されるための、広い輪郭形成面を有するスロット付導波管構造の横断面図を示す。

【図 8】

スロット間隙の幅にわたり付加的な低周波励起を可能にするために、改変された側壁を有する方形スロット付導波管の横断面図を示す。

【図 9】

薄肉基板の貫通処理または両面処理のための 2 つのスロットを有する改変された方形導波管構造の等角図を示す。

【図 10】

単一の壁スロットを有するリッジ付き導波管構造を示す。

【図 11】

貫通処理または両面処理のための壁スロット及びスロット付リッジを有するリッジ付導波管構造を示す。

【図 12】

(A) 及び (B) はそれぞれ、複数のマイクロ波ソースに補助的に結合されている長い導波管構造の上面図及び側面図である。

【図 13】

広い ($w > 1$ メートル) 基板の処理のための食い違いモジュール形導波管アブ

リケータを示す。

【図1】

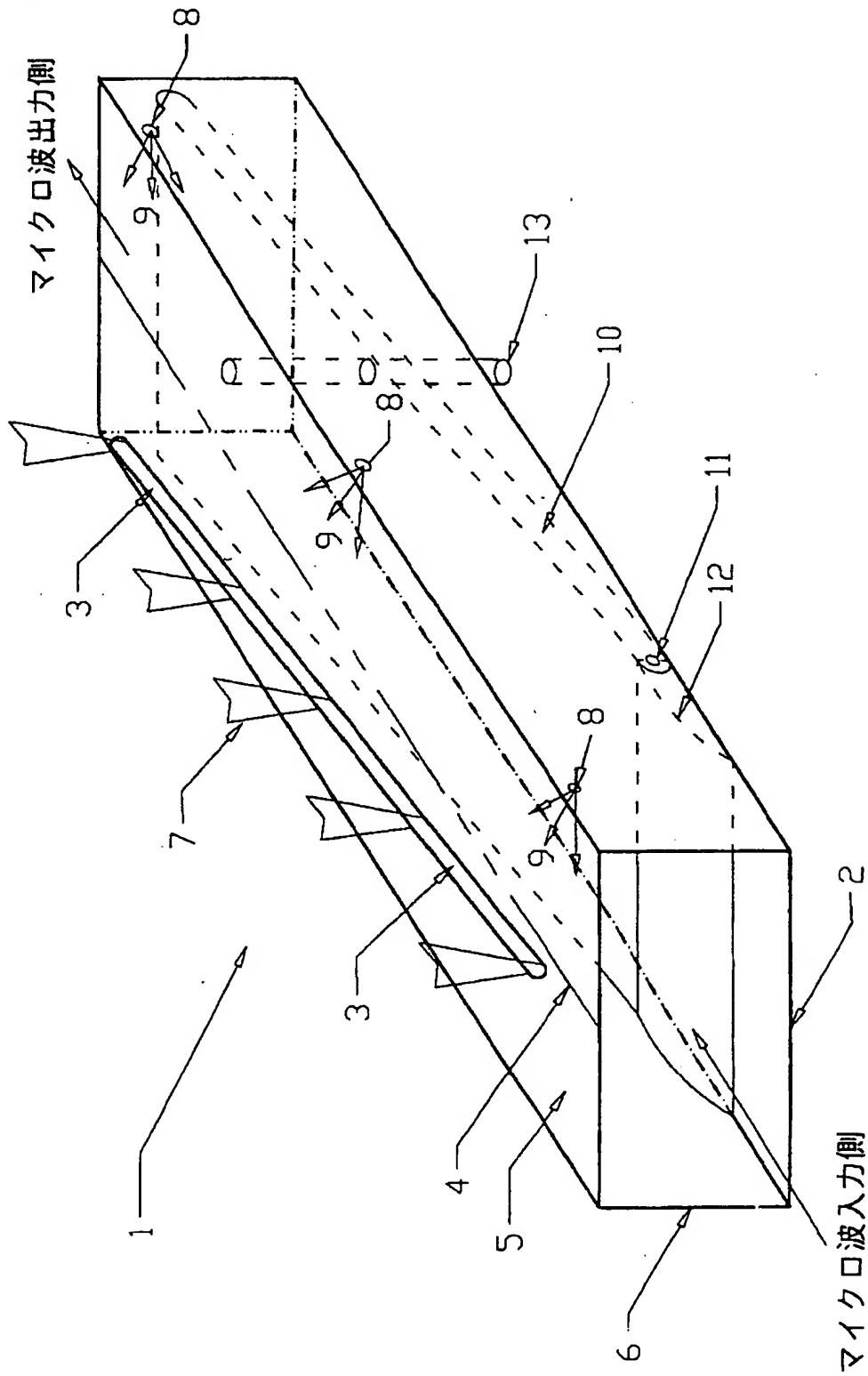


Figure 1

【図2】

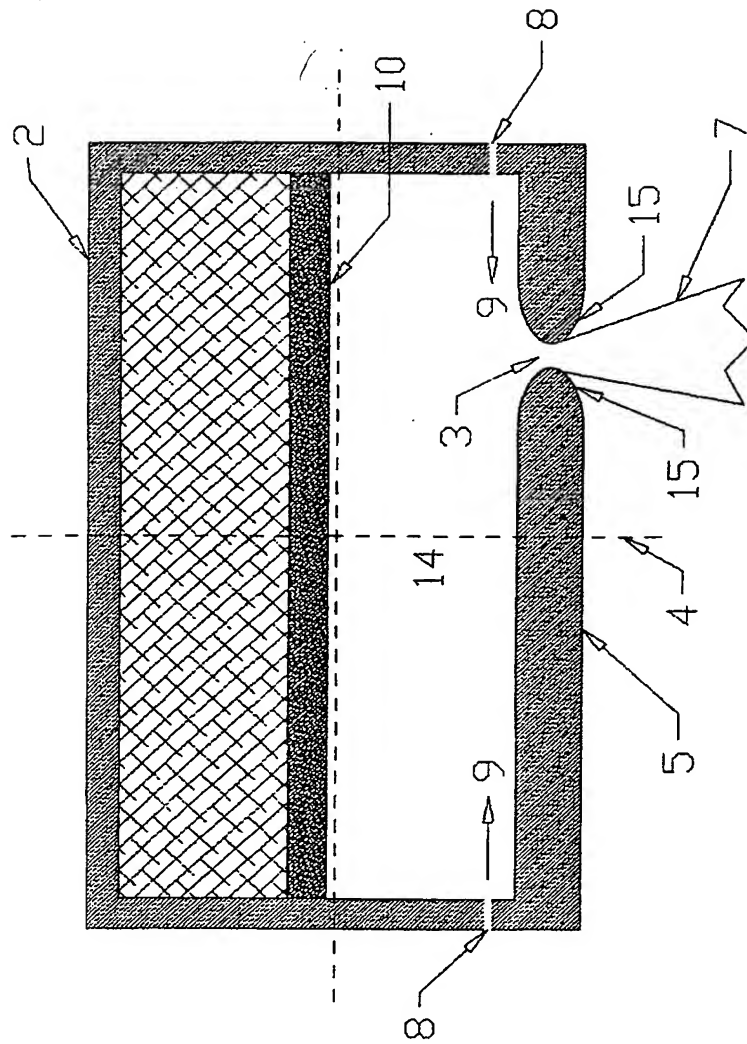


Figure 2

【図3】

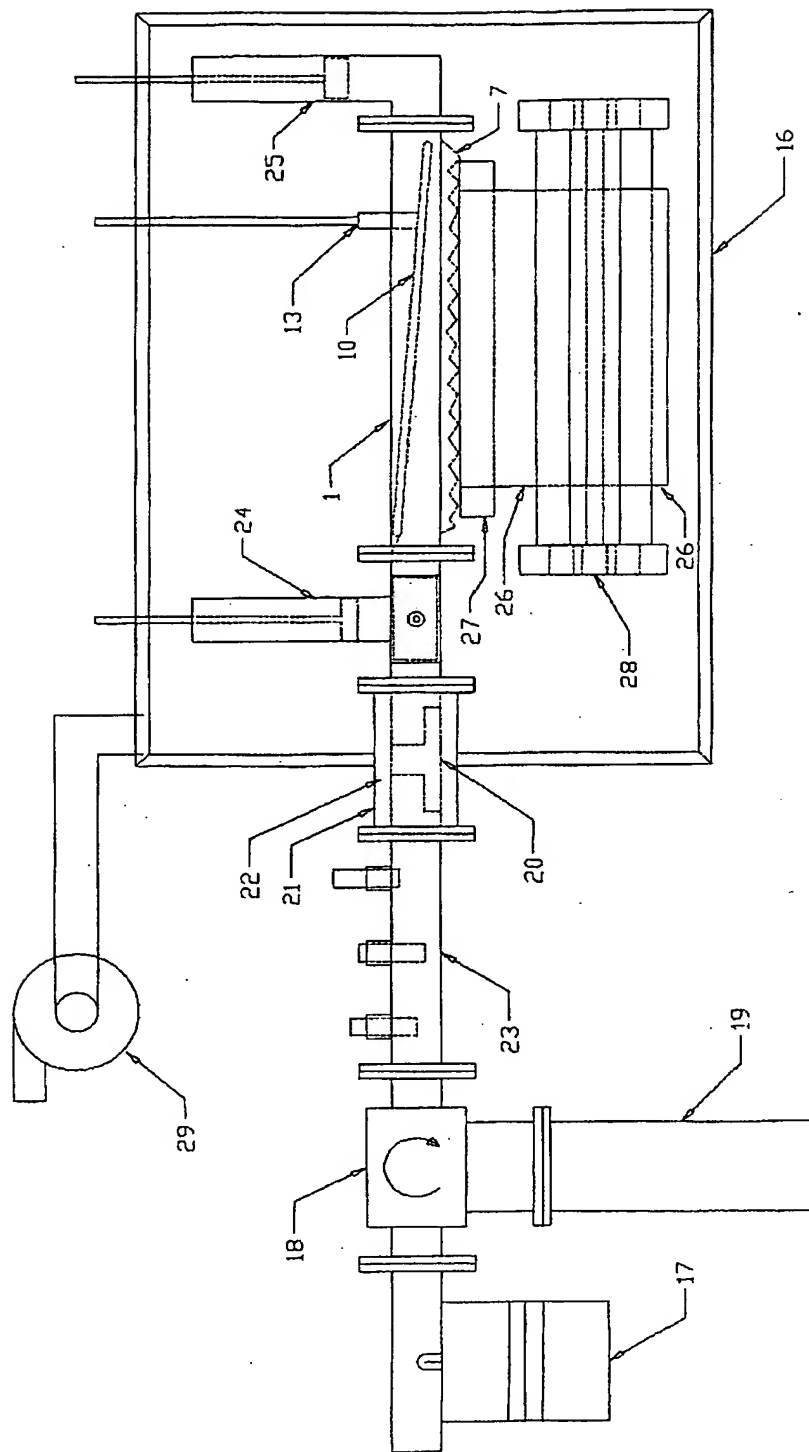


Figure 3

【図 4】

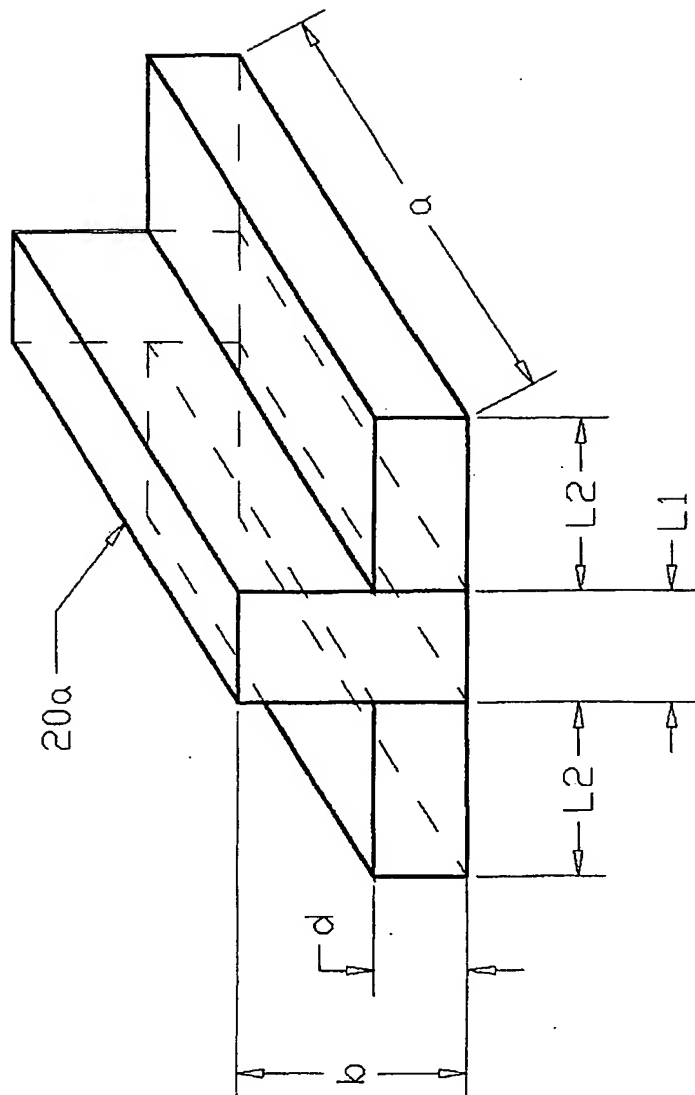


Figure 4

【図5】

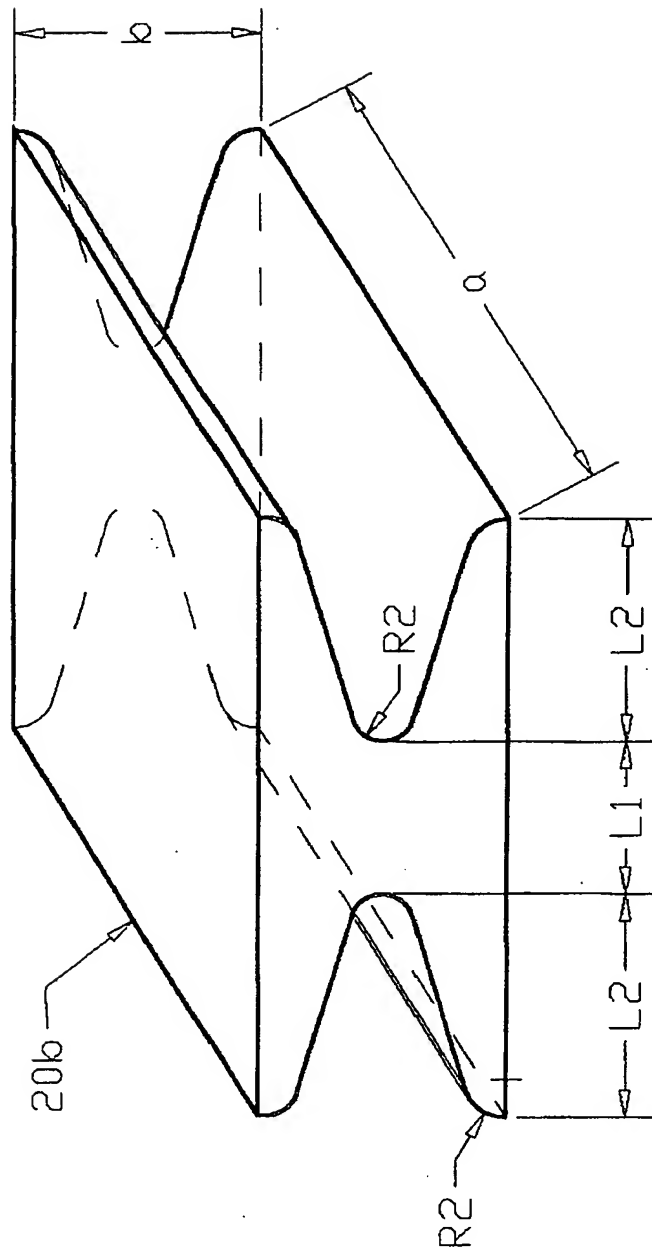


Figure 5

【図6】

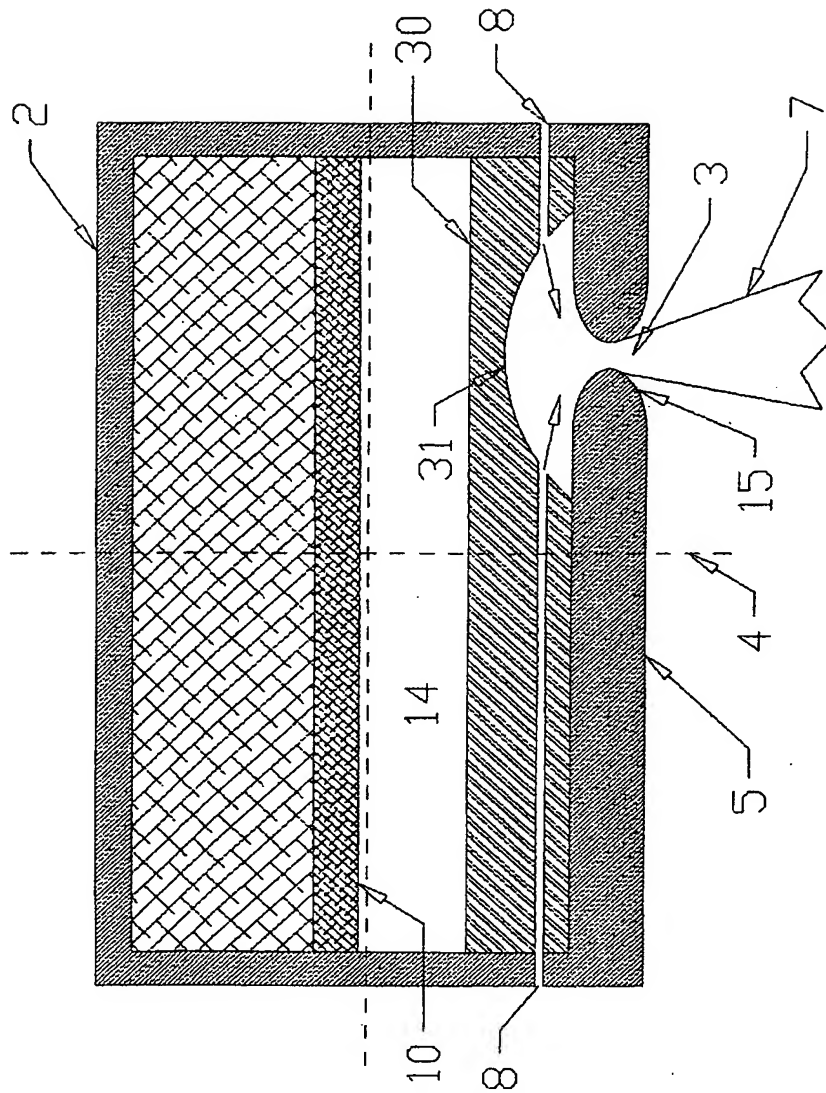


Figure 6

【図 6 a】

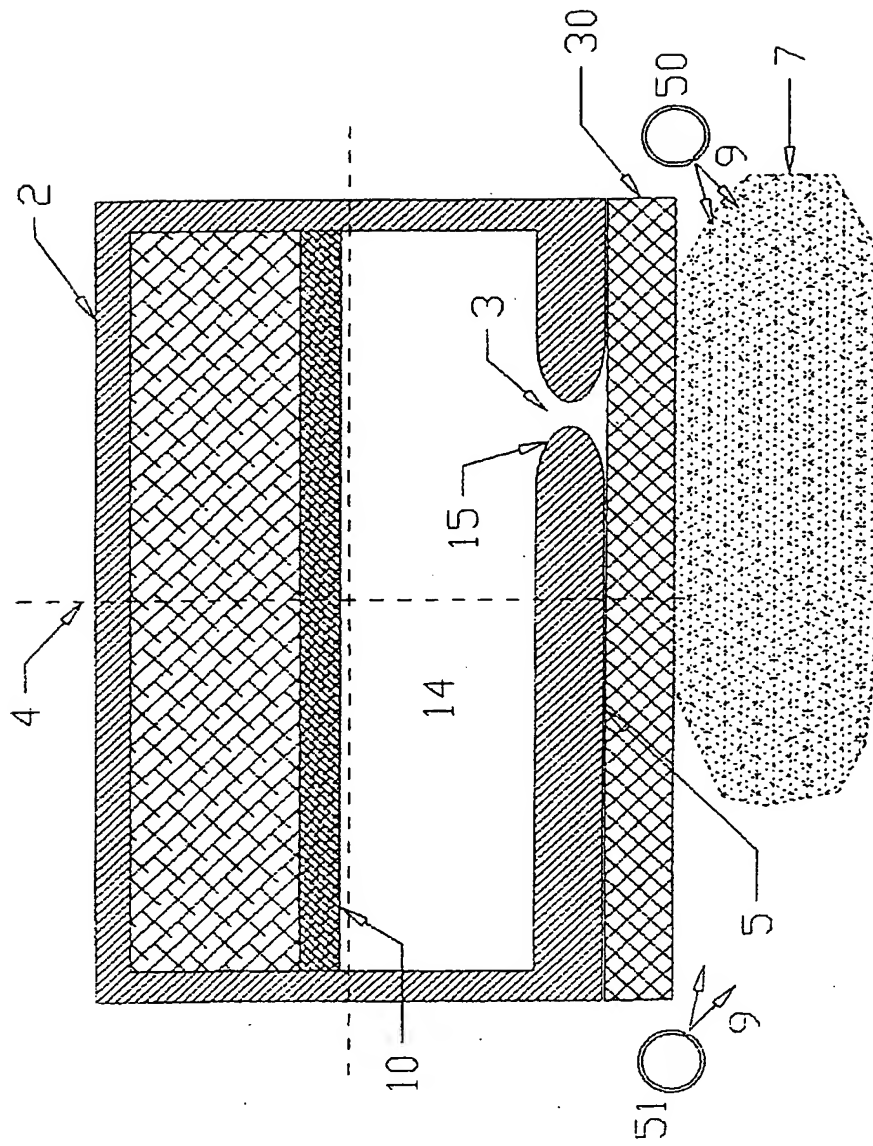


Figure 6a

【図7】

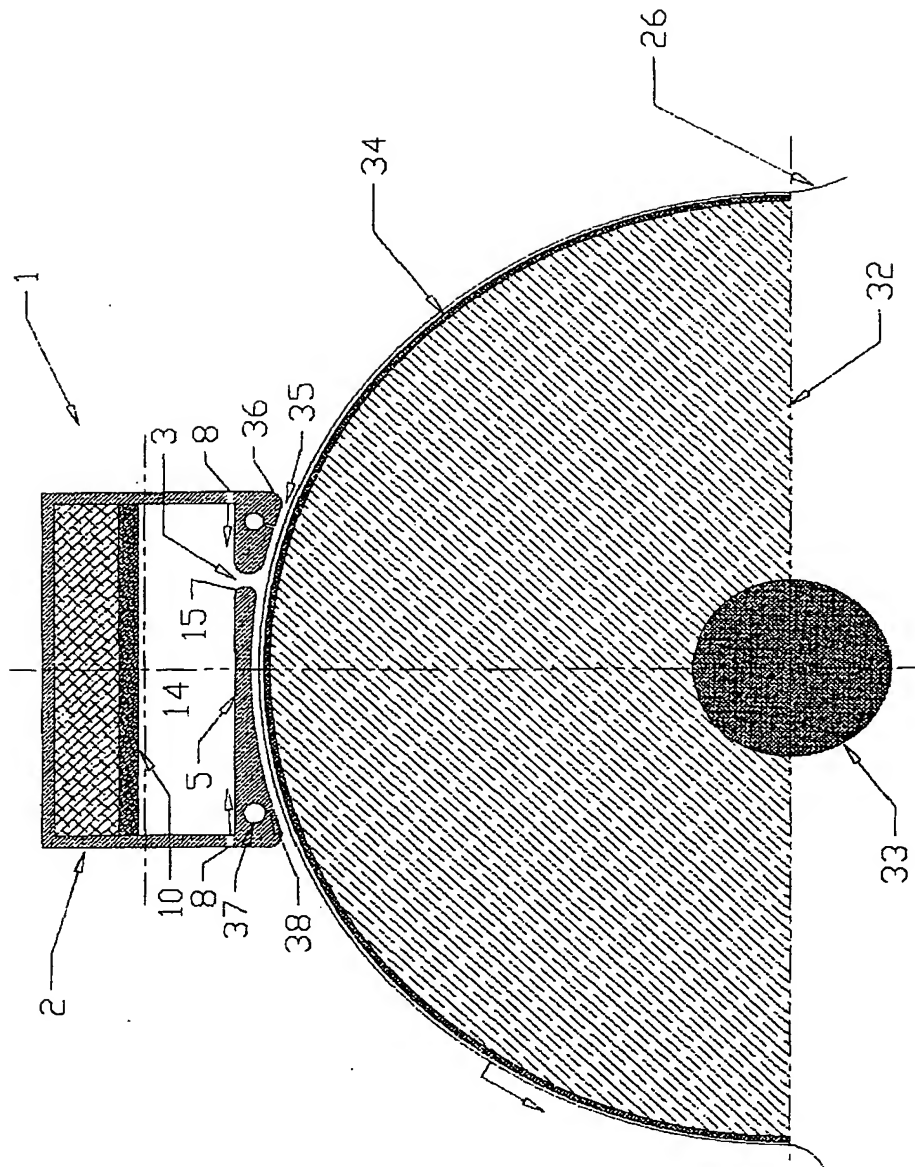


Figure 7

【図9】

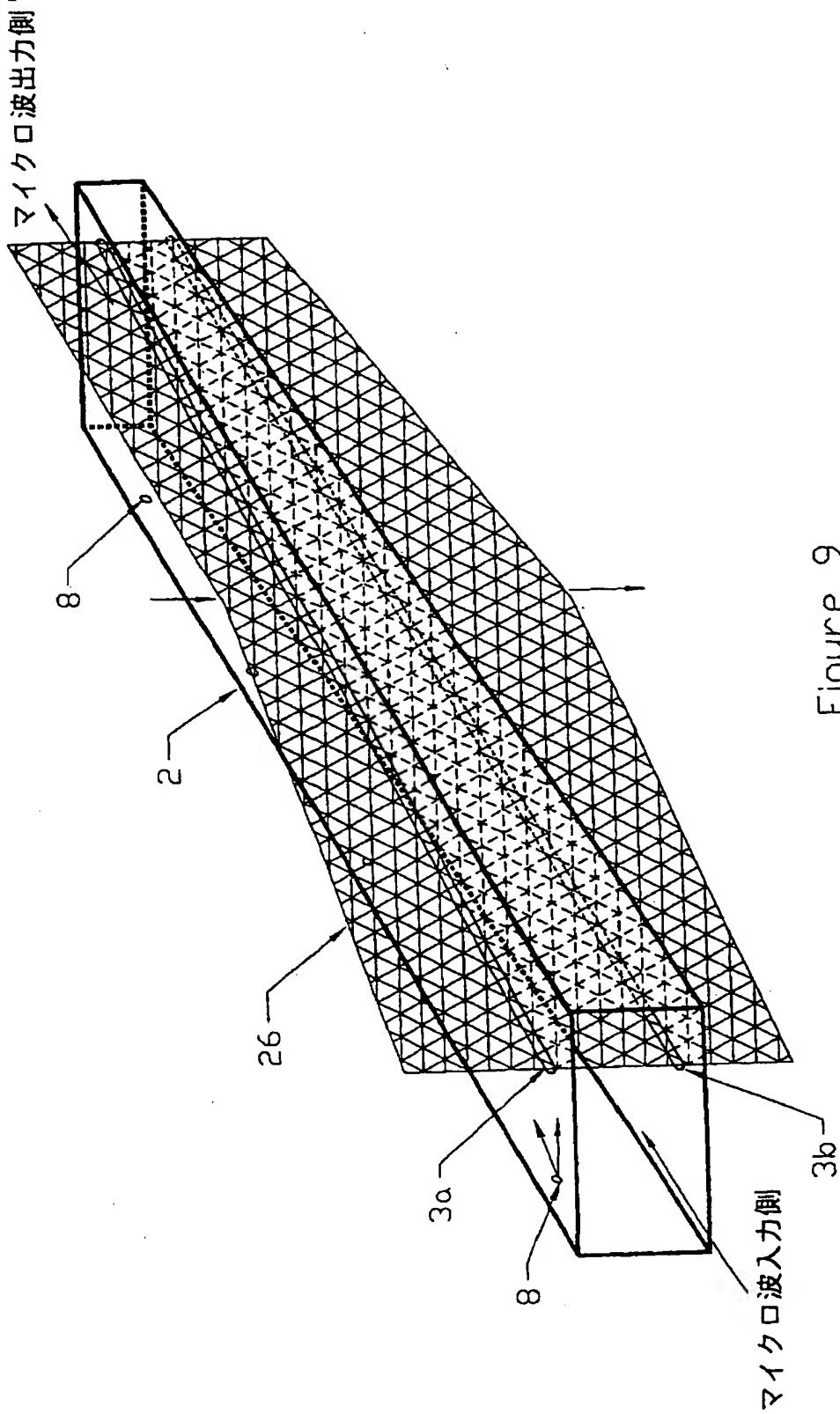


Figure 9

【図 10】

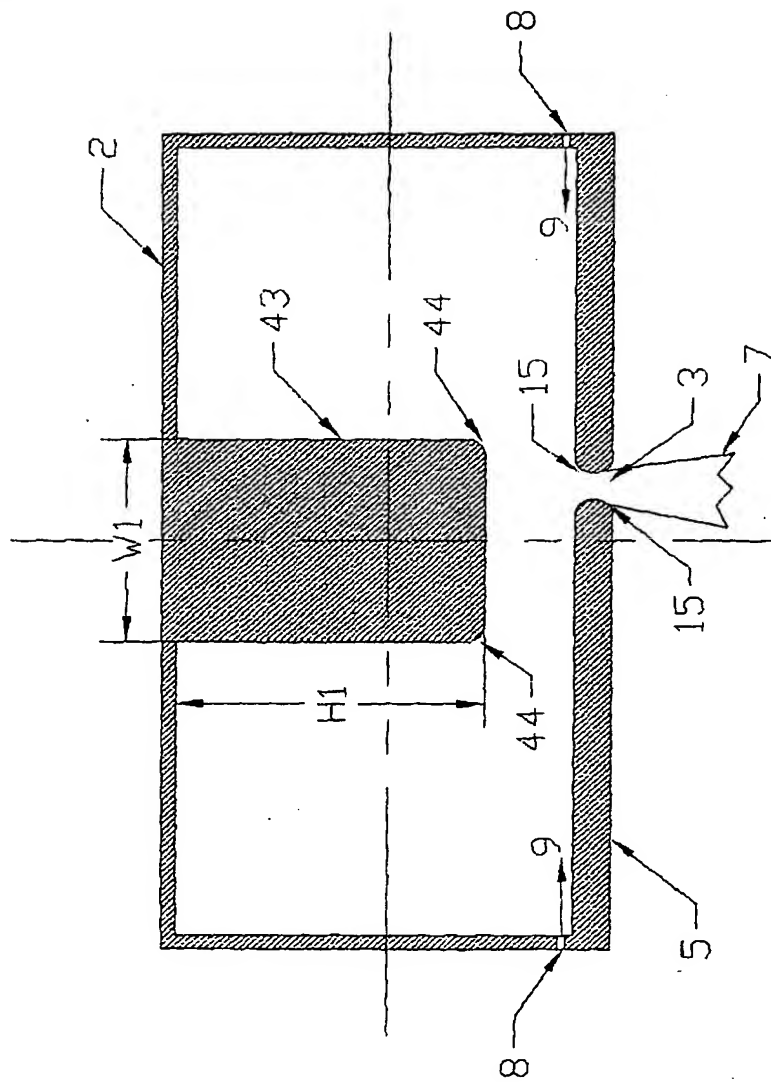


Figure 10

【図11】

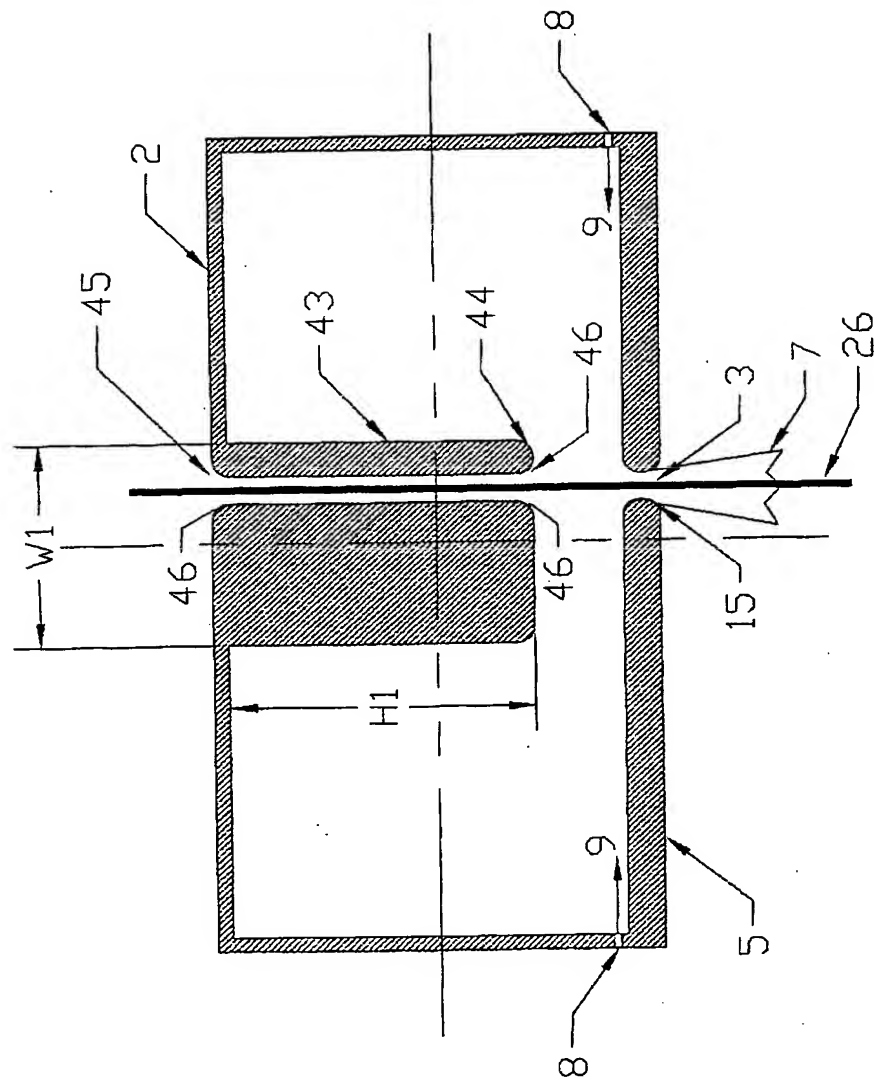


Figure 11

【図12】

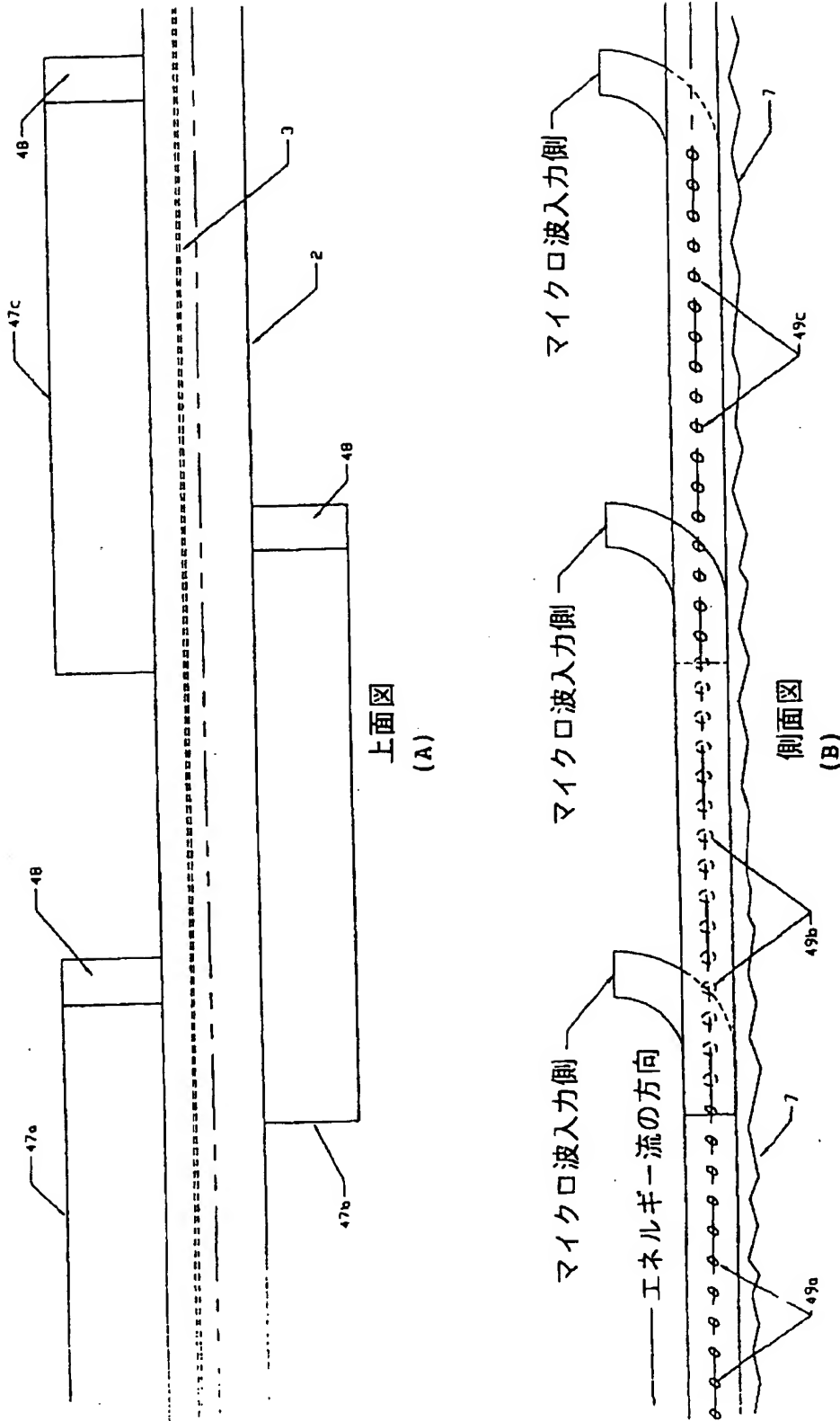
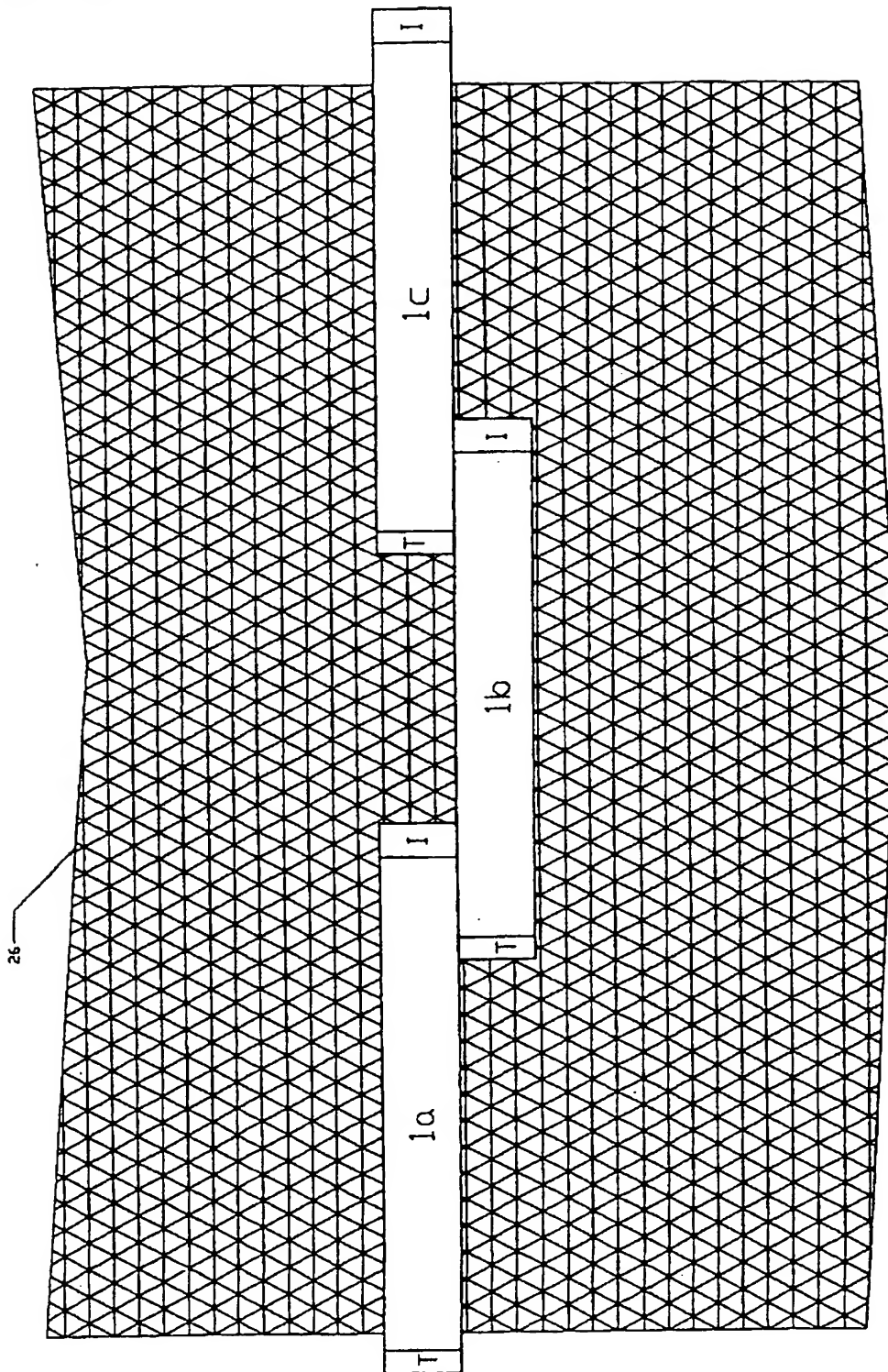


Figure 12

【図13】



1 = マイクロ波入力側
 T = マイクロ波出力側

Figure 13

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US99/22965

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(6) :H05H 1/46 US CL :315/111.21; 313/231.31 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 315/111.21; 313/231.31; 118/723MW, 723ME; 156/345MW Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched NONE Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) USPTO APS EAST search terms: traveling, wave, slot, plasma		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X — Y	US 5,567,241 A (TSU ET AL) 22 October 1996 (22-10-1996), see figures 1-3, col. 11, lines 12-25 and lines 53-55, and col. 12, lines 5-7.	1, 14, 15, 18, 22-26, and 40 — 27-31
Y	US 4,767,641 A (KIESER ET AL) 30 August 1988 (30-08-1988), see figure 6.	27-31
A, P	US 5,843,236 A (YOSHIKI ET AL) 01 December 1998 (01-12-1998), see entire document.	1-40
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "B" earlier document published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 23 NOVEMBER 1999		Date of mailing of the international search report 04 FEB 2000
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer Justin BETTENDORF Telephone No. (703) 308-2786

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW

(72)発明者 ディーズ, ダブリュー・エドワード
アメリカ合衆国テネシー州37920, ノック
スヴィル, モントレイク・ドライヴ 3601
Fターム(参考) 4G075 AA30 AA41 CA26 CA47 CA65
DA02 EB01 EB21 EC30 FC15